

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

В. Г. Лугвин

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

В книге популярно изложены свойства новых усилительных элементов — транзисторов. Даются характеристики различных схем включения транзисторов, способы установления режимов, простейшие методы определения неисправности и измерения коэффициентов усиления транзисторов. Рассмотрены также схемы любительских транзисторных приемников настольного и переносного типов различной сложности.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей-конструкторов.

Лугвин Владимир Гаврилович

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

* * *

Редактор *П. А. Попов* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 3/II 1960 г. Подписано к печати 10/V 1960 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ 4,1 п. л. 4,6 уч.-изд.
Т-05349 Тираж 100 000 Цена 1 р. 85 к. Зак. № 20

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конструирование и сборка приемных и усилительных устройств всегда занимают большое место в творческой работе радиолюбителей. С этого обычно и начинается их деятельность в области радиотехники и электроники.

Появление транзисторов открывает новое увлекательное направление в деятельности радиолюбителей. По сравнению с электронными лампами транзисторы более экономичны и долговечны. Они значительно меньше по размерам, чем электронные лампы, и могут питаться от источников низкого напряжения. Все это представляет большие удобства для конструирования экономичных и малогабаритных устройств.

В данной книге описаны схемы самодельных приемников и усилителей различной сложности, которые могут быть собраны каждым радиолюбителем самостоятельно.

Физические процессы, происходящие внутри транзистора при его работе, отличаются от рабочих процессов в электронных лампах. По этой причине перед радиолюбителями, которые в своей практике имели дело только с радиолампами, могут возникнуть затруднения, связанные с освоением специфических свойств новых усилительных приборов. Для облегчения работы радиолюбителей первая глава книги посвящена изложению принципа действия транзисторов, их электрическим характеристикам и методике обращения с ними.

В последующих главах книги описаны конкретные конструкции самодельных усилителей низкой частоты и радиовещательных приемников. Изложение материала производится в порядке возрастающей сложности, что облегчает чтение и работу по конструированию аппаратуры на транзисторах.

В. Лугвин

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ТРАНЗИСТОР — УСИЛИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

1. Как устроен транзистор

В настоящее время существуют два основных класса транзисторов — точечные и плоскостные. Первый из них нашел значительно меньшее распространение из-за таких присущих ему недостатков, как неустойчивость работы в режиме усиления, меньшая по сравнению со вторым надежность и механическая прочность. Почти во всех режимах работы точечный транзистор может быть с успехом заменен соответствующим плоскостным, поэтому все схемы, рекомендуемые настоящей брошюрой, построены на плоскостных транзисторах.

В дальнейшем под понятием «транзистор» будем подразумевать во всех без исключения случаях плоскостной транзистор.

Одна из наиболее распространенных конструкций транзистора представляет собой тонкую прямоугольную пластинку, вырезанную из кристалла германия, с вплавленными в нее со стороны больших граней двумя каплями металла индия, играющими роль электродов. От пластинки, называемой базой или основанием транзистора, а также и от вплавленных в нее индиевых электродов, именуемых эмиттером и коллектором, сделаны токопроводящие выводы. Выводы носят те же названия, что и электроды, к которым они прикреплены (рис. 1,*а*). Вся конструкция помещена в герметически закрытый металлический или керамический корпус. Как правило один из электродов транзистора механически соединен с корпусом для обеспечения лучшего теплоотвода[1]

---

[1] В настоящее время находят широкое применение и другие конструкции транзисторов (диффузионные, поверхностнобарьерные и др.), отличающиеся от сплавных как технологией изготовления, так и некоторыми рабочими параметрами. Однако внешние электрические свойства транзисторов разных конструкций весьма сходны.

Границы раздела между кристаллом и двумя другими электродами называются эмиттерным и коллекторным переходами. Каждый из переходов транзистора в отдельности ведет себя так же, как обычный полупроводниковый диод, т. е. пропускает через себя электрический ток при одной

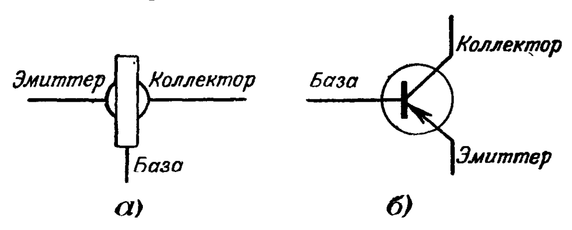


Рис. 1. Сплавной транзистор.
а — чертеж конструкции; *б* — схемное обозначенне.

полярности приложенного к нему внешнего напряжения (в прямом направлении) и не пропускает при противоположной полярности (в обратном направлении). Нашей промышленностью освоены транзисторы двух типов проводимости: *p-n-p* и *n-p-n*, отличающиеся главным образом тем, что по отношению к базе прямые и обратные направления их переходов противоположны. Для обоих переходов транзистора *p-n-p* прямым направлением является такое, при котором к базе подключен отрицательный полюс внешнего источника напряжения (рис. 2,*а*).

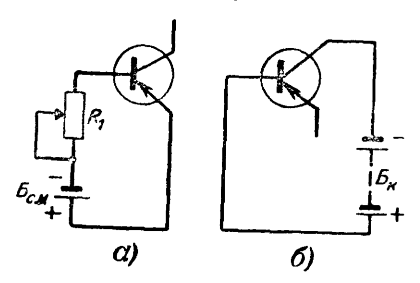


Рис. 2. Способы подключения внешних источников питания к транзистору типа *p-n-p*.
а — подключение источника к эмиттерному переходу; *б* — подключение источника к коллекторному переходу.

В то же время каждый из переходов транзистора типа *n-p-n* пропускает через себя ток при подключении к нему напряжения положительным полюсом в сторону базы. Основные характеристики этого типа транзисторов мало отличаются от характеристик транзисторов с проводимостью типа *p-n-p*, поэтому в дальнейшем изложении материала во всех случаях, за исключением специально оговоренных, будут рассматриваться транзистор типа *p-n-p*.

То обстоятельство, что оба перехода представляют собой полупроводниковые диоды, может быть использовано для проверки исправности транзистора. С помощью омметра измеряют прямое и обратное сопротивления каждого из переходов транзистора. Если транзистор исправен, то прямые сопротивления переходов имеют величину порядка 30—50 *ом*, а обратные 500—2 000 *ком*. При значительном отклонении измеренных величин от указанных выше транзистор считается неисправным.

Для измерения сопротивлений транзисторных переходов следует применять омметр с напряжением внутреннего источника питания, не превышающим 3 *в*, и с достаточно большим внутренним сопротивлением. Во всяком случае, величина тока, протекающего через переход транзистора при измерении его сопротивления, не должна превышать 5—10 *ма*. В противном случае транзистор может выйти из строя.

Несмотря на то, что каждый из переходов транзистора ведет себя в отдельности так же, как обычный полупроводниковый диод, было бы ошибкой представлять себе транзистор как простую совокупность двух диодов.

Дело в том, что при любой схеме соединения двух полупроводниковых диодов ток каждого из них зависит только от величины и полярности приложенного к нему напряжения и не зависит от электрического состояния другого диода, тогда как ток коллекторного перехода транзистора находится в прямой зависимости от величины тока, протекающего через эмиттерный переход. Это свойство и положено в основу принципа работы транзистора.

Для пояснения законов распределения токов внутри транзистора обратимся к типичным схемам подключения источников питания, изображенным на рис. 2. В схеме на рис. 2,*б* к коллекторному переходу транзистора подключена батарея $Б_к$ в обратном, т. е. запирающем направлении. При этом коллекторный ток транзистора ничтожно мал, так как обратное сопротивление перехода велико. К эмиттерному переходу транзистора в схеме на рис. 2,*а* подключена батарея $Б_{см}$ в прямом направлении. Ток перехода в этом случае определяется главным образом величиной включенной части переменного сопротивления R_1, так как прямое сопротивление перехода весьма мало. Эти два способа подключения источников питания являются характерными для транзисторных схем, так как коллекторное напря-

жение всегда имеет обратную, а эмиттерное прямую полярность.

На рис. 3 изображена реальная схема включения транзистора, в которой к нему подведены оба напряжения одновременно. Несмотря на то, что источник коллекторного напряжения в этой схеме подключен к транзистору в обратном (т. е. запирающем) направлении, ток коллектора в ней значительно больше, чем в схеме на рис. 2,б, и его величина зависит от величины эмиттерного тока. Изменяя положение движка переменного сопротивления R_1, можно управлять величиной коллекторного тока транзистора.

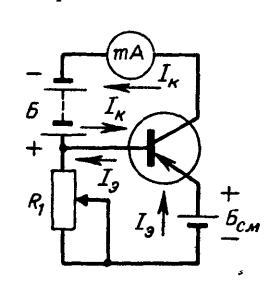


Рис. 3. Схема распределения токов между электродами транзистора.

Таким образом, если в электронных лампах управление анодным током осуществляется, как правило, с помощью напряжения первой сетки, то коллекторный ток транзистора управляется током эмиттерного перехода. При этом величина коллекторного тока плоскостных транзисторов всегда бывает несколько меньше величины управляющего эмиттерного тока, вследствие чего коэффициент усиления транзистора по току, равный

$$\alpha = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э},$$

оказывается меньше единицы (знак Δ обозначает малые изменения величин, перед которыми он стоит).

У различных типов отечественных транзисторов коэффициент усиления по току α лежит в пределах 0,9—0,99.

Из приведенной выше формулы видно, что токи коллекторного и эмиттерного переходов транзистора связаны между собой однозначно, но отличаются по величине. Разница между величинами эмиттерного и коллекторного токов относительно невелика; в то же время она реально существует как самостоятельный ток одного из выводов транзистора — вывода базы.

В том, что ток базового вывода транзистора равен разности токов эмиттерного и коллекторного переходов, нетрудно убедиться, анализируя распределение токов в схеме на рис. 3. Таким образом,

$$I_б = I_э - I_к.$$

Но так как коллекторный ток $I_к$ составляет определенную часть эмиттерного тока, т. е.

$$I_к = \alpha I_э,$$

то

$$I_б = (1 - \alpha) I_э,$$

или

$$I_б = \frac{1-\alpha}{\alpha} I_к.$$

Из последних двух выражений видно, что ток базового вывода транзистора в десятки раз меньше тока двух его других электродов. Например, при $\alpha = 0{,}9$ ток $I_б = 0{,}1 I_к$, а при $\alpha = 0{,}99$ ток $I_б = 0{,}01 I_к$. Это свойство позволяет использовать транзистор для усиления тока (как постоянного, так и переменного). В самом деле, благодаря тому, что величины токов всех трех электродов транзистора однозначно связаны между собой, мы, изменяя каким-либо способом величину тока базы транзистора, обнаружим, что его коллекторный ток меняется при этом в десятки раз сильнее.

Дробный множитель $\frac{\alpha}{1-\alpha}$, показывающий, во сколько раз изменения коллекторного тока транзистора превосходят вызвавшие их изменения тока базы, носит название коэффициента усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером[1] и обозначается греческой буквой β:

$$\beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}.$$

Усилительные свойства любой транзисторной схемы тем выше, чем бо́льшую величину коэффициента β имеет включенный в нее транзистор. Простой и доступный для радио-

[1] Транзисторные усилительные схемы, так же как и схемы на электронных лампах, обладают существенно различными свойствами, в зависимости от того, какой из электродов усилительного прибора в схеме является общим по отношению к усиливаемому входному и снимаемому выходному напряжениям. Источник входного напряжения (генератор) и нагрузочное сопротивление, на котором выделяется усиленное выходное напряжение, имеют по два зажима каждый. Так как транзистор обладает тремя рабочими электродами, то очевидно, что в любой схеме включения один из электродов транзистора будет общим для генератора и нагрузки (источник напряжения питания представляет для усиливаемого сигнала короткое замыкание). Отсюда и названия: схема с общим эмиттером, схема с общей базой.

любителя способ определения величины коэффициента β у конкретного экземпляра транзистора изложен на стр. 12.

Правильному построению различных усилительных схем и выбору их режима способствует использование семейств статических характеристик усилительных приборов. Радиолюбителям, работавшим с электронными лампами, несомненно, хорошо известны такие их семейства характеристик, как анодно-сеточные и анодные. С помощью этих характеристик можно определить с достаточной степенью точности параметры всех деталей конструируемого узла, обеспечивающие заданный режим работы. Аналогичные характеристики можно построить и для транзисторов. Однако в связи с большим разбросом параметров транзисторов характеристики, снятые с одного экземпляра, не могут быть использованы для расчета режима другого Тем не менее, знание основных свойств некоторых транзисторных характеристик необходимо для грамотного построения схем.

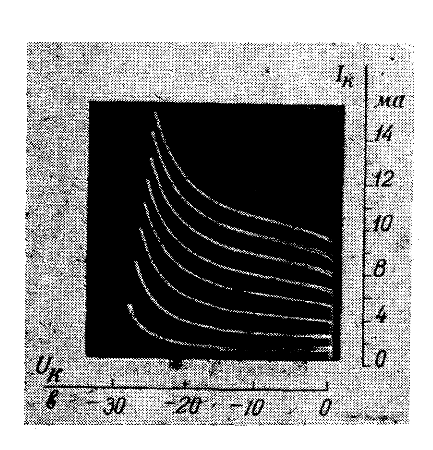


Рис. 4. Реальное семейство статических коллекторных характеристик транзистора типа П6В.

Наиболее типичным является семейство коллекторных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, представляющее собой графическую зависимость коллекторного тока от напряжения между коллектором и эмиттером при различных, но неизменных для каждой отдельной характеристики значениях тока базы.

На рис. 4 представлено реальное семейство коллекторных характеристик одного из экземпляров транзистора типа П6В, полученное путем фотографирования с экрана осциллографа. По вертикальной оси графика отложены значения коллекторного тока, а по горизонтальной напряжение коллектор — эмиттер. Нижняя характеристика соответствует току базы, равному нулю, следующая — току $I_б = 30$ *мка*, третья — $I_б = 60$ *мка* и т. д.

Из рис. 4 следует, что ток коллектора транзистора при постоянном значении тока базы практически не зависит от

напряжения на коллекторе. Это свойство полезно по двум причинам. Во-первых, транзистор можно включать в схемы с весьма низким напряжением питания, не превышающим 1—2 *в*, во-вторых, нагружая транзистор на относительно большое сопротивление, можно получить в схеме высокий коэффициент усиления по напряжению.

Малая зависимость коллекторного тока транзистора от величины напряжения эмиттер — коллектор обусловливает сходство характеристик и некоторых других свойств транзисторов и электровакуумных пентодов.

При напряжении, приближающемся к 30 *в*, характеристики маломощных транзисторов (П6, П13) резко загибаются кверху. Это происходит из-за начинающегося в тран-

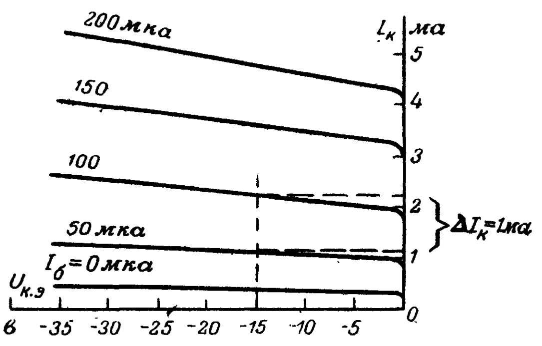


Рис. 5. Графический способ определения коэффициента β.

зисторе явления электрического пробоя. Следовательно, транзисторные схемы следует рассчитывать таким образом, чтобы в любой момент времени коллекторное напряжение не превосходило некоторого опасного для триода значения.

По семейству характеристик можно определить коэффициент усиления транзистора по току β. Графический способ определения величины β показан на рис. 5. На горизонтальной оси семейства характеристик откладывается точка, соответствующая выбранному рабочему напряжению. Из нее проводится прямая, параллельная оси токов, до пересечения с теми соседними характеристиками, между которыми заключена точка, соответствующая заданной величине тока коллектора. Из точек пересечения вертикальной линии с характеристиками проводятся две горизонтальные прямые до пересечения с осью токов. Отрезок оси, заключенный между проведенными линиями, соответствует

изменению коллекторного тока, вызванному увеличение тока базы при переходе от нижней характеристики к верхней. Величина коэффициента β равна отношению численного значения отрезка оси коллекторного тока к разности токов базы, соответствующих соседним характеристикам

Для изображенного на рис 5 случая

$$\beta = \frac{\Delta I_к}{I_{б2} - I_{б1}} = \frac{1\,000}{100 - 50} = 20.$$

Простым и доступным для радиолюбителя, хотя и не очень точным экспериментальным способом определения коэффициента β, является следующий.

Собирается схема, показанная на рис. 6. В качестве источника питания схемы служит батарея для карманного

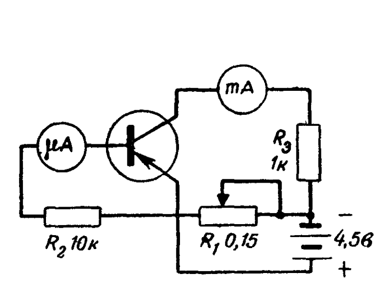


Рис. 6. Схема измерения коэффициента β.

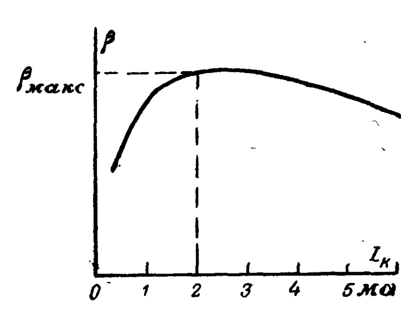


Рис. 7. Зависимость коэффициента β от тока коллектора.

фонаря. Если применяется какой-либо другой источник, то следует убедиться, что его напряжение не превышает 5 *в*. В цепи коллектора и базы включают сопротивления указанных номиналов, ограничивающие токи транзистора с целью предотвращения возможности его перегорания. Миллиамперметр в коллекторной цепи должен иметь шкалу, удобную для отсчета токов величиной от 1 до 2 *ма*, а микроамперметр в цепи базы транзистора должен обеспечивать измерение токов 100—200 *мка*.

После сборки схемы необходимо убедиться, что величина коллекторного тока транзистора изменяется при вращении ручки переменного сопротивления R_1, т. е. проверить исправность транзистора. Далее следует установить ручку переменного сопротивления в такое положение, при котором величина коллекторного тока окажется рав-

ной 1 *ма*, и измерить соответствующую этому состоянию величину тока базы. После этого положение движка потенциометра изменяют так, чтобы ток коллектора стал равным 2 *ма*, и снова измеряют ток базы. Величину коэффициента β вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{I_{к2} - I_{к1}}{I_{б2} - I_{б1}} = \frac{1\,000}{I_{б2} - I_{б1}},$$

где $I_{к2}$ и $I_{к1}$ — устанавливаемые в процессе измерения токи коллектора (2 *ма* и 1 *ма*); их разность равна 1 *ма* или 1 000 *мка*, а $I_{б2}$ и $I_{б1}$ — измеренные значения тока базы.

У исправных транзисторов величина β должна лежать в пределах 10 — 100. Зная величину β, можно, если это необходимо, вычислить коэффициент α по формуле

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}.$$

Следует иметь в виду, что величина β у каждого транзистора изменяется при изменении тока эмиттера (и коллектора). Приблизительный характер этого изменения показан на рис. 7, из которого видно, что у маломощных транзисторов коэффициент β максимален в пределах значений тока коллектора 1—3 *ма*. При токах, меньших 1 *ма*, коэффициент β резко падает. Поэтому в большинстве усилительных схем режим транзистора по постоянному току следует выбирать таким, чтобы коллекторный ток был не меньше 1 *ма*.

2. Транзистор — усилительный элемент

Рассмотрим работу схемы с общей базой, изображенную на рис. 8,*а*. Очевидно, что при отсутствии входного сигнала транзистор в этой схеме заперт, так как в ней нет источника напряжения смещения.

Если к входным зажимам схемы подключить источник переменного напряжения синусоидальной формы, то в коллекторной цепи транзистора появится пульсирующий ток, форма которого показана на рис. 8,*б*. Амплитудное значение импульса коллекторного тока будет несколько меньше амплитуды входного тока, протекающего по эмит-

терному переходу, в связи с тем, что коэффициент усиления по току α у транзистора в схеме с общей базой меньше единицы. Искажение формы тока происходит потому, что эмиттерный переход транзистора пропускает входной ток только одной полярности. В течение того отрезка времени, когда на транзистор действует отрицательная полуволна

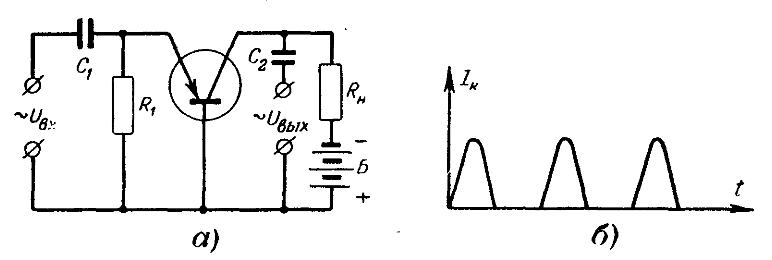


Рис. 8. Транзисторный усилитель с общей базой без смещения.
а — схема усилителя; *б* — форма выходного напряжения.

входного напряжения, эмиттерный переход заперт, и ток в коллекторной цепи отсутствует. Во время положительной полуволны входного напряжения возникает ток эмиттерного перехода (имеющий форму отрезка синусоиды) и одновременно ток в коллекторной цепи, повторяющий форму входного тока. Понятно, что такое искажение формы усиливаемого сигнала (потеря отрицательной полуволны) недопустимо.

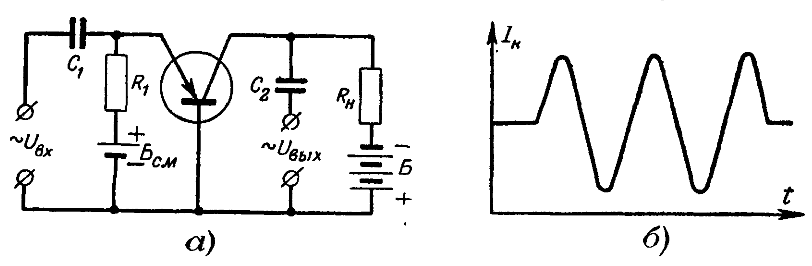


Рис. 9. Реальная схема усилителя с общей базой.
а — схема усилителя; *б* — форма выходного напряжения.

Однако этот недостаток легко устраняется при введении в схему источника постоянного смещения (рис. 9,*а*). Наличие источника смещения приводит к тому, что в коллекторной цепи транзистора имеется постоянный ток независимо от того, есть ли на входе схемы напряжение сигнала или нет. Появление переменного напряжения сигнала

приводит к тому, что его положительная полуволна увеличивает, а отрицательная уменьшает ток эмиттерного перехода. В соответствии с этим увеличивается и уменьшается ток коллектора транзистора (рис. 9,*б*).

Если ток смещения выбран по величине равным амплитудному значению входного тока, то в отдельные моменты времени транзистор почти запирается, но тем не менее форма коллекторного тока почти без искажений повторяет форму входного сигнала. При увеличении входного сигнала, когда амплитуда входного тока превысит величину постоянного тока смещения, наступит явление одностороннего ограничения за счет отсечки входного тока. При этом форма коллекторного тока искажается так же, как и в схеме без смещения.

Итак, для неискаженного усиления сигнала в транзисторной схеме необходимо устанавливать ток смещения, превышающий максимально возможное амплитудное значение сигнала. Чтобы обеспечить путь постоянной составляющей эмиттерного тока, эмиттер транзистора необходимо соединять с положительным полюсом источника питания либо сопротивлением (R_1 в схеме рис. 9,*а*), либо обмоткой входного трансформатора.

Если в коллекторную цепь транзистора включить сопротивление, то при изменении коллекторного тока на этом сопротивлении выделится переменное напряжение, также повторяющее форму входного сигнала. При этом мощность сигнала в нагрузочном сопротивлении может значительно превосходить управляющую мощность, несмотря на то, что ток в нагрузке (коллекторный ток) меньше входного тока. Дело в том, что входное сопротивление усилительного каскада, собранного по схеме с общей базой, имеет весьма малую величину — всего 30—50 *ом* (у маломощных транзисторов), тогда как нагрузочное сопротивление может быть относительно большим — до 10—15 *ком*.

Мощность переменного тока, как известно, определяется произведением квадрата тока, протекающего через сопротивление, и величины этого сопротивления, т. е.

$$P = I^2 R.$$

Следовательно, входная мощность

$$P_{вх} = I_э^2 R_{вх},$$

а выходная мощность

$$P_{вых} = I_к^2 R_н,$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление схемы;

$R_н$ — сопротивление нагрузки.

Коэффициент усиления схемы по мощности определяется как отношение выходной мощности ко входной, т. е.

$$K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}.$$

Схема с общей базой имеет, следовательно, коэффициент усиления по мощности

$$K_p = \frac{I_к^2 R_н}{I_э^2 R_{вх}} \approx \alpha^2 \frac{R_н}{R_{вх}} *.$$

Так как коэффициент усиления по мощности равен произведению коэффициентов усиления по току и напряжению, т. е.

$$K_p = K_u K_i,$$

а коэффициент усиления схемы с общей базой по току равен α, то коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = \frac{K_p}{\alpha} = \alpha \frac{R_н}{R_{вх}} *.$$

Из приведенных приближенных формул видно, что усиление схемы с общей базой тем больше, чем больше ее нагрузочное сопротивление. Однако это утверждение справедливо лишь до некоторой, определенной для данного типа транзистора, величины сопротивления нагрузки.

Характерным является тот факт, что последовательное соединение двух или нескольких транзисторных схем, собранных по схеме с общей базой и емкостно-реостатными связями между каскадами, не приводит к увеличению усиления. Дело в том, что при таком соединении нагрузочным сопротивлением каждого предыдущего каскада является входное сопротивление последующего, и так как эти сопротивления равны, то схема будет иметь коэффициент усиления меньше единицы. Поэтому, при необходимости

---

* Формула является приближенной, так как не учитывает зависимости α от величины сопротивления нагрузки $R_н$. В действительности увеличение $R_н$ приводит к уменьшению величины α по сравнению с измеренным при $R_н = 0$ значением.

создания многокаскадных усилителей на транзисторах, включенных по схеме с общей базой, нужно согласовывать входные и выходные сопротивления соседних каскадов с помощью трансформаторов.

В схеме с общим эмиттером для неискаженного усиления сигнала также необходимо устанавливать постоянный ток смещения. Эта схема (рис. 10) по некоторым своим свойствам выгодно отличается от предыдущей. Как уже указывалось, схема с общим эмиттером обладает способностью усиливать ток. Ее коэффициент усиления по току β может иметь величину, достигающую 100. Коэффициент усиления по мощности этой схемы

$$K_p = \frac{I_к^2 R_н}{I_б^2 R_{вх}} \cong \beta^2 \frac{R_н}{R_{вх}} \ *.$$

Очевидно, что схема с общим эмиттером обладает более высокими усилительными свойствами, чем предыдущая. Правда, входное сопротивление этой схемы выше, чем у схемы с общей базой, и имеет величину порядка 400 — 600 *ом* (вместо 30—50 *ом*). Поэтому выигрыш в усилении по мощности составляет не в β^2 раз, а приблизительно в β раз. Коэффициент усиления по напряжению схемы с общим эмиттером:

$$K_u = \beta \frac{R_н}{R_{вх}} \ *.$$

В отличие от усилительных каскадов с общей базой каскады с общим эмиттером и емкостно-реостатной связью можно включать последовательно один за другим. Так как при этом нагрузочным сопротивлением каждого каскада является сопротивление, равное его входному, то коэффициент усиления каскада по напряжению практически оказывается равным β. При согласовании же каскадов с помощью трансформаторов усиление каждого из них увеличивается.

Следует отметить, что схема с общим эмиттером обладает и рядом недостатков по сравнению со схемой с общей базой. К числу этих недостатков можно отнести, в первую очередь, большие нелинейные искажения, сильную зависи-

---

* Формула приближенная, так как не учитывает зависимости β от величины $R_н$. В действительности при увеличении $R_н$ коэффициент усиления по току β падает.

мость коэффициента усиления от параметров транзистора, низкую границу частотного диапазона усиления.

Кроме рассмотренных схем, на практике нередко используют для обеспечения высокого входного сопротивления многокаскадного усилителя третий вариант включения транзистора (рис. 11), так называемый эмиттерный повторитель (по аналогии с катодным повторителем на электронной лампе), или схему с общим коллектором. В этой

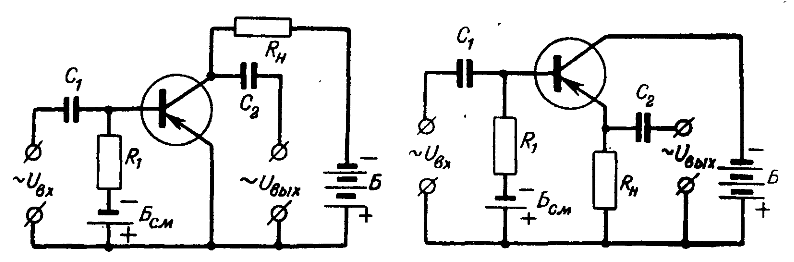


Рис. 10. Схема усилителя с общим эмиттером.

Рис. 11. Схема усилителя с общим коллектором.

схеме нагрузочное сопротивление включено в цепь эмиттера транзистора, сигнал же подается на его базу.

Эмиттерный повторитель имеет коэффициент усиления по напряжению меньше единицы, поэтому используется он только в качестве промежуточного звена, имеющего относительно высокое входное и низкое выходное сопротивления. Величина выходного сопротивления эмиттерного повторителя почти не зависит от сопротивления нагрузки и составляет всего несколько десятков ом. Входное же сопротивление эмиттерного повторителя определяется главным образом величиной сопротивления нагрузки и может быть рассчитано по следующей приближенной формуле:

$$R_{вх} = \beta R_{н}.$$

3. Меры предосторожности в обращении с транзисторами

Транзистор — механически прочный и долговечный в эксплуатации прибор, весьма критичен даже к кратковременным перегрузкам, которые возможны при монтаже и наладке схемы. Поэтому в обращении с транзисторами следует быть очень внимательным и не пренебрегать некоторыми мерами предосторожности, гарантирующими сохранность прибора

Прежде всего нужно помнить о недопустимости перегрева транзистора при впайке в схему. Поэтому пайку выводов транзистора следует производить на расстоянии не менее 1 *см* от его корпуса, создавая при этом дополнительный теплоотвод от припаиваемого вывода с помощью пинцета или плоскогубцев.

Не допускается и подключение транзистора к схеме, находящейся под током.

Питание транзисторной схемы напряжением, превышающим максимально допустимое для используемого типа транзистора, ведет к его пробою. Опасным является даже кратковременное подключение к схеме с транзисторами источника питания обратной полярности.

При работе со схемой следует избегать замыкания между собой выводов базы и коллектора.

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора, не должна превышать предельно допустимую.

Особую осторожность нужно проявлять при наладке каскадов с трансформаторной нагрузкой, так как малое сопротивление обмоток трансформатора постоянному току не препятствует опасному для транзистора росту коллекторного тока, вызванному какими-либо неисправностями схемы.

При подборе режима транзистора с помощью переменных сопротивлений последовательно с ними следует включать сопротивления постоянные, величину которых определяют исходя из предельно допустимых норм на токи транзистора.

4. Типы транзисторов

Транзисторы являются относительно новыми усилительными приборами, и их совершенствование непрерывно продолжается. Поэтому нет ничего удивительного в том, что в настоящее время существует много различных типов транзисторов, имеющих одинаковое назначение и в общем сходные характеристики. Основным их отличием является то, что более новые разработки обладают по некоторым параметрам более высокими показателями. Тем не менее, при отсутствии у радиолюбителя новых типов транзисторов можно с успехом использовать и старые, если они по своим частотным свойствам и выходной мощности удовлетворяют заданным требованиям.

В связи с этим читатели данной брошюры должны критически оценивать рекомендации автора по применению того или иного типа транзисторов в каждом конкретном

случае. Если, например, в какой-либо из схем рекомендуется применение транзистора типа П13, то вполне допустимо использование в ней транзисторов и другого типа, например, П1В. Оценку взаимозаменяемости различных типов транзисторов следует производить по их основным параметрам: граничной частоте усиления, предельным значениям токов и напряжений и допустимой мощности, рассеиваемой коллектором.

Каждый тип транзисторов, характеризуемый основными свойствами, разбивается на группы, обозначаемые по старой классификации буквами русского алфавита, а по новой цифрами. Группы транзисторов внутри одного типа отличаются по коэффициенту усиления, по шумовым свойствам и незначительно — по частотным. Деление транзисторов на группы по их коэффициенту усиления весьма относительно, так как при конкретных измерениях в низших группах могут быть обнаружены экземпляры с большим коэффициентом усиления по току, чем в высших.

5. Способы установки режима транзистора

Как уже отмечалось ранее, для неискаженного усиления в транзисторной схеме должна устанавливаться определенная величина постоянной составляющей коллекторного тока.

Существует несколько вариантов схем установки начального тока. Самая простая из схем показана на рис. 12. В ней источником тока смещения является общая батарея питания.

Одним из недостатков такой схемы является то, что из-за большого разброса параметров транзисторов невозможно заранее указать величину сопротивления R_1, обеспечивающую заданный режим транзистора. Поэтому величину сопротивления R_1 в данной схеме следует подбирать для каждого конкретного экземпляра транзистора, контролируя с помощью миллиамперметра его коллекторный ток.

Вторым недостатком этой схемы является сильная зависимость коллекторного тока от температуры окружающей среды. При повышении температуры и, следовательно, при нагревании транзистора, его коллекторный ток резко возрастает, что может привести к тепловому пробою перехода.

В связи с этим рассматриваемую схему следует применять только в самых простых и малогабаритных конструкциях, в которых простота является главным достоинством.

Одним из путей уменьшения самопроизвольного температурного роста коллекторного тока транзистора служит уменьшение величины сопротивления, включенного между его базой и положительным (для транзисторов *n-p-n* типа проводимости — отрицательным) полюсом источника питания.

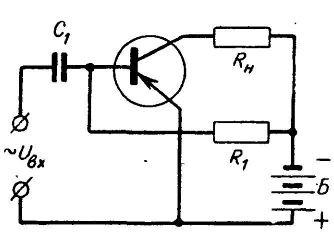


Рис. 12. Простейшая схема установки режима транзистора.

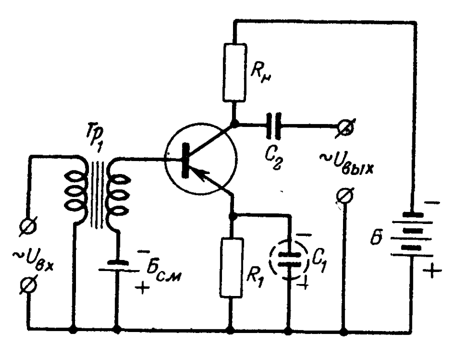


Рис. 13. Схема установки режима с отдельным источником смещения.

Этим свойством обладает схема, изображенная на рис. 13. В ней база транзистора подключена к положительному полюсу источника питания через весьма малые по величине сопротивления обмотки трансформатора и батареи смещения.

Температурная стабильность коллекторного тока в этой схеме значительно выше, чем в предыдущей. Кроме того, нужный режим здесь может быть установлен без контроля коллекторного тока. При смене транзисторов в этой схеме, даже если они различных типов, величина коллекторного тока практически не изменяется.

Недостатком схемы является необходимость иметь отдельный источник напряжения смещения. Однако если основной источник питания схемы состоит из отдельных элементов, соединенных последовательно, то можно обойтись и без специальной батареи смещения, используя для этой цепи один элемент общей батареи, как это показано на рис. 14.

Сопротивление R_1 в цепи эмиттера, определяющее величину коллекторного тока, необходимо блокировать конденсатором большой емкости. В противном случае коэффициент усиления схемы по напряжению резко падает из-за наличия отрицательной обратной связи по току (по этой

же причине в ламповых схемах блокируются конденсаторами сопротивления автоматического смещения, включаемые в цепи катодов ламп). Емкость (в микрофарадах) блокирующего конденсатора определяется минимальной частотой (в герцах) усиливаемого схемой сигнала и может быть ориентировочно рассчитана по формуле

$$C_1 > \frac{2{,}5 \cdot 10^3}{f_н}.$$

Требуемый ток устанавливается с помощью сопротивления R_1, величина которого определяется следующими соображениями.

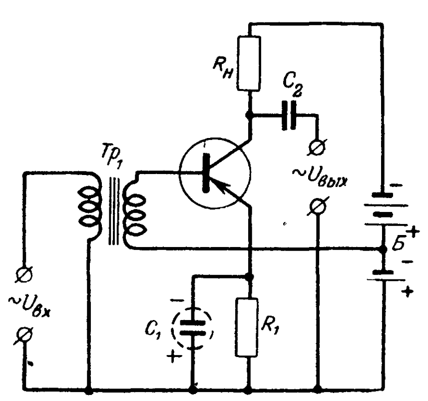


Рис. 14. Использование части общего источника питания для создания тока смещения транзистора.

Так как ток базы транзистора и его входное сопротивление постоянному току относительно малы, то падение напряжения между базой и эмиттером составляет, как правило, всего 0,1—0,2 *в*. Поэтому падение напряжения на сопротивлении R_1 за счет протекающего через него эмиттерного тока равно практически напряжению батареи смещения.

Следовательно, если нужно, чтобы включенный в схему транзистор имел ток коллектора, равный 1 *ма* при напряжении батареи смещения, равном 1,5 *в*, то величина сопротивления R_1 выбирается в пределах 1,3—1,5 *ком* в соответствии с формулой

$$R_1 = \alpha \frac{E_{см}}{I_к} = 0{,}95 \frac{1{,}5}{1} = 1{,}4 \text{ ком}.$$

Схема с отдельной батареей смещения наиболее удачно реализуется в усилителях с трансформаторным входом.

а также в усилителях с общей базой, поскольку база транзистора подключена в них к батарее смещения либо непосредственно, либо через малое по величине сопротивление обмотки трансформатора, а это позволяет получить хорошую температурную стабильность режима.

В схемах же усилителей с емкостно-реостатной связью и общим эмиттером приходится последовательно с батареей смещения включать дополнительное сопротивление R_2 (рис. 15), ухудшающее стабильность режима. При отсутствии сопротивления R_2 источник входного сигнала ока-

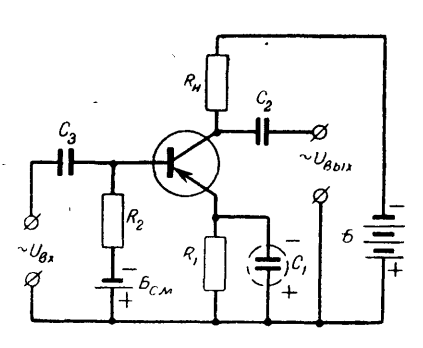


Рис. 15. Вариант схемы с отдельной батареей смещения.

Рис. 16. Схема с реостатным делителем в цепи базы и отрицательной обратной связью по постоянному току.

жется шунтированным внутренним сопротивлением батареи смещения.

Отдельную батарею смещения можно заменить реостатным делителем напряжения, подключенным к общему источнику питания. Такой вариант схемы (рис. 16) наиболее часто используется на практике благодаря тому, что он сохраняет в значительной степени преимущества схемы с отдельной батареей смещения и в то же время питание при этом осуществляется от одного источника.

Для расчета схемы по рис. 16 необходимо задаться величиной напряжения смещения $U_{см}$ (в пределах 1/5—1/8 от напряжения питания) и величиной тока делителя (с учетом того, что чем больше этот ток, тем выше стабильность режима транзистора). Слишком большим ток делителя не следует выбирать из соображений экономичности. Как правило, ток делителя выбирается в пределах $(0{,}2 \div 0{,}5)I_к$.

После этого величины входящих в схему сопротивлений можно определить по следующим формулам:

$$R_1 = \frac{\alpha U_{см}}{I_к};$$

$$R_2 = \frac{U_{см}}{I_{дел}};$$

$$R_3 = \frac{E - U_{см}}{I_{дел} + \frac{I_к}{\beta}}.$$

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРОСТЕЙШИЕ КОНСТРУКЦИИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

6. Детекторные приемники с усилителем низкой частоты

Самыми простыми в наладке и настройке являются детекторные приемники с одним или несколькими емкостно-реостатными каскадами усиления низкой частоты. Поэтому с их постройки и следует начинать освоение различных схем с транзисторами.

Правда, такие приемники имеют сравнительно низкую чувствительность, но они все же могут обеспечить громкоговорящий прием местных радиовещательных станций, а также прием на телефон мощных радиостанций, расположенных в радиусе 300—500 *км*.

Как и другие радиовещательные приемники, они должны содержать резонансный колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора. Если приемник рассчитан на прием одной или нескольких вполне определенных радиостанций, то контур такого приемника наряду с катушкой постоянной индуктивности должен иметь соответственно один или несколько подключаемых поочередно подобранных по величине конденсаторов постоянной емкости. Если же собирается приемник с плавной настройкой на любую радиостанцию, то конденсатор его колебательного контура должен быть переменным.

Другим обязательным элементом приемника является детектор. В данных приемниках можно применять как диодное детектирование с точечным германиевым диодом, так и детектирование с транзистором, который одновре-

менно еще и усиливает получающееся в результате детектирования напряжение низкой частоты.

Из двух вариантов детектирования первый предпочтительней, так как при равном количестве транзисторов приемник с диодным детектором имеет большее общее усиле-

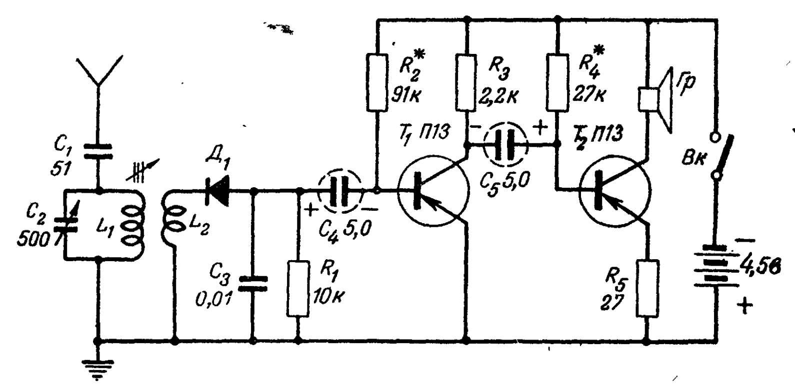


Рис. 17. Схема детекторного приемника с диодным детектором и транзисторным усилителем низкой частоты.

ние. Объясняется это тем, что транзистор работает в режиме детектирования при малых величинах коллекторного тока, а это, как указывалось ранее, приводит к уменьшению коэффициента усиления транзистора по току.

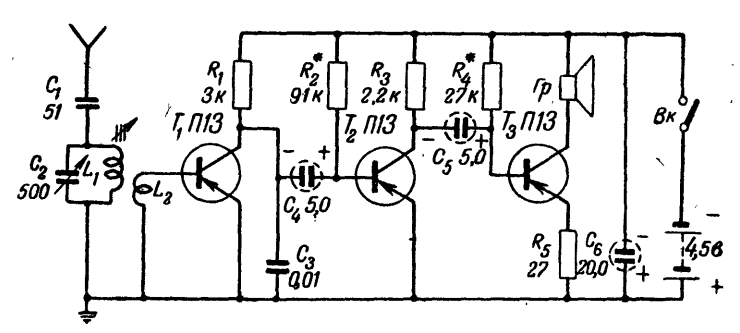


Рис. 18. Схема приемника с транзисторным детектором.

На рис. 17 и 18 показаны схемы простейших транзисторных приемников, различающихся только способами детектирования.

Катушка индуктивности L_1 контура приемника, схема которого дана на рис. 17, может быть намотана либо на

каркасе с цилиндрическим сердечником из карбонильного железа, либо на броневых сердечниках типа СБ-2а или СБ-3а.

Индуктивность катушки в приемнике с плавной настройкой определяется верхней частотой диапазона, минимальной емкостью конденсатора и емкостью схемы. Если приемник рассчитан на прием станций длинноволнового диапазона (150—415 *кгц*), а конденсатор имеет минимальную емкость 15—30 *пф*, то индуктивность должна быть выбрана в пределах 2—3 *мгн*. Такая индуктивность может быть получена при намотке на цилиндрический каркас с карбонильным подстроенным стержнем 450—500 витков провода с эмалевой изоляцией (ПЭЛ или ПЭВ) диаметром 0,15—0,2 *мм*. Конструктивный чертеж катушки изображен на рис. 19. Каркас ее может быть изготовлен из любого изоляционного материала. Намотку можно производить внавал.

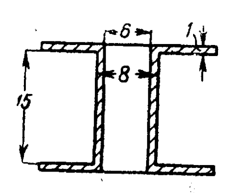


Рис. 19. Конструкция каркаса катушки входного контура.

Катушка с броневым сердечником СБ-2а или СБ-3а должна иметь меньшее число витков (200—250). Провод для нее должен быть выбран такого диаметра, чтобы вся обмотка могла поместиться на каркасе сердечника.

Точная подгонка индуктивности производится при окончательной настройке приемника перемещением подстроечного карбонильного сердечника вдоль оси катушки.

Катушка L_2, предназначенная для согласования контура с низким входным сопротивлением детектора, наматывается на тот же каркас и имеет в 5—6 раз меньшее число витков, чем катушка L_1.

В детекторном каскаде применен полупроводниковый диод $Д_1$ (типа ДГ-Ц1—ДГ-Ц8). Нагрузкой детектора по постоянному току служит сопротивление R_1. Конденсатор C_3 является блокировочным по высокой частоте.

Первый каскад усиления низкой частоты выполнен по схеме с общим эмиттером. Начальный ток транзистора T_1, обеспечивающий неискаженное усиление, устанавливается подбором величины сопротивления R_2. Величина коллекторного тока этого транзистора должна быть равна 0,8—1 *ма*. При этом напряжение на коллекторе транзистора равняется половине напряжения источника питания. С выходным каскадом транзистор T_1 связан электролитическим

конденсатором C_5. Большая величина емкости переходного конденсатора определяется низким входным сопротивлением следующего каскада.

Второй, оконечный, каскад собран также по схеме с общим эмиттером, обеспечивающей большой коэффициент усиления. Режим каскада устанавливается сопротивлением R_4. Нагрузкой его служит громкоговоритель *Гр*. Величина тока транзистора T_2 устанавливается такой, чтобы падение напряжения на обмотке громкоговорителя было равно 2 *в*. Это условие может быть выполнено, если сопротивление громкоговорителя постоянному току будет не меньше 200 *ом*. Если же сопротивление громкоговорителя меньше 200 *ом*, то режим транзистора контролируется по величине тока, которая должна быть равна 5—7 *ма*.

В приемнике могут использоваться головные телефоны с сопротивлением катушек постоянному току 600—2 000 *ом* или громкоговорители магнитоэлектрического типа, имеющие, как правило, относительно большое входное сопротивление и достаточную отдачу. Применять электродинамические громкоговорители без специальных выходных трансформаторов нельзя из-за низкого сопротивления их звуковой катушки.

Благодаря низкому напряжению питания конденсаторы могут быть низковольтными. Сопротивления можно применять любые, рассчитанные на небольшую мощность рассеяния.

Все детали можно разместить на гетинаксовой, текстолитовой или другой изоляционной плате площадью 50 × ×150 *мм* и толщиной 2—4 *мм*. Крепить детали лучше всего на штырьках, нарезанных из медного провода диаметром 1—1,5 *мм*. Для установки штырьков на плате следует высверлить отверстия такого же диаметра. Перед установкой штырьки нужно слегка расплющить в средней их части, чтобы они плотно держались в отверстиях платы. Детали схемы удобно распаивать с одной стороны платы, а соединительные провода — с другой.

Наладку приемника начинают с выходного каскада. В первую очередь нужно установить требуемую величину его коллекторного тока. При нормальной работе каскада в громкоговорителе должен прослушиваться характерный шум, похожий на легкое шипение.

Первый каскад усилителя налаживается так же, как и выходной каскад (подбором величины сопротивления R_2

в цепи базы). После его подключения к оконечному каскаду шум в громкоговорителе должен усилиться.

К налаженному усилителю подключается входной контур с антенной, детектором и заземлением. Добившись приема какой-либо радиовещательной станции, надо попробовать изменить число витков катушки L_2, стремясь увеличить громкость работы приемника. Сердечником катушки L_1 следует попробовать изменить ее индуктивность так, чтобы в диапазоне приемника оказалось максимальное число слышимых радиостанций.

Схема приемника с транзисторным детектором изображена на рис. 18. Ее отличие от рассмотренной выше заключается только в детекторном каскаде, режим которого при налаживании схемы устанавливать не требуется.

7. Приемники прямого усиления

Детекторные приемники имеют низкую чувствительность. Попытки повысить чувствительность добавлением каскадов низкой частоты не приводят к желаемым результатам, так как многокаскадные усилители низкой частоты обладают высоким уровнем шумов на выходе.

Эффективного повышения чувствительности можно достичь только усилением принятого сигнала до детекторного каскада, тем более, что диодные детекторы удовлетворительно работают при напряжении высокочастотного сигнала на их входе, не меньшем 10—50 *мв.*

По такому принципу строятся приемники прямого усиления, которые наряду с детектором и усилителем низкой частоты содержат еще один или два каскада усиления высокой частоты.

Существует много различных вариантов схем транзисторных усилителей высокой частоты, но все они могут быть разделены на две основные группы: резонансные и апериодические. Резонансные усилители имеют в качестве нагрузки колебательные контуры, настраиваемые на частоту усиливаемого сигнала. Нагрузкой же апериодических усилителей высокой частоты могут служить сопротивления или специальные трансформаторы с высокочастотными сердечниками из карбонильного железа или оксифера.

Резонансные усилители обладают более высокими усилительными свойствами, чем апериодические, но возможности их применения в диапазонных любительских приемни-

ках ограничены тем обстоятельством, что каждый каскад должен иметь собственный орган настройки. Поэтому чаще встречаются приемники прямого усиления с апериодическими усилителями высокой частоты.

На рис. 20 изображена схема простого в наладке настольного транзисторного приемника прямого усиления. Приемник рассчитан на громкоговорящий прием дальних радиостанций длинноволнового диапазона. Для приема средневолновых станций в нем пришлось бы переключать не только входной контур, но и трансформаторы усилителя высокой частоты, а это вряд ли целесообразно.

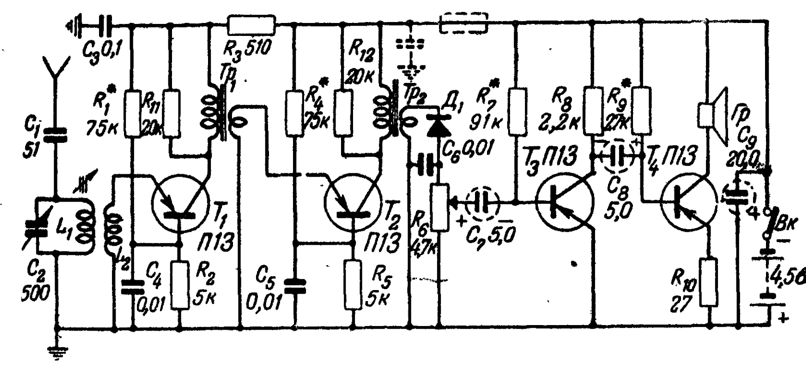


Рис. 20. Схема приемника прямого усиления.

Приемник содержит два каскада усиления высокой частоты, диодный детектор и двухкаскадный усилитель низкой частоты, работающий непосредственно на высокоомный телефонный капсюль или на громкоговоритель типа «Рекорд». Для уверенного приема дальних станций к приемнику должны быть подключены внешняя антенна и заземление. Питание приемника осуществляется от батареи для карманного фонаря напряжением 4,5 *в* или от трех последовательно соединенных элементов типа «Сатурн». При желании в схему приемника может быть введен более мощный усилитель низкой частоты с выходом на электродинамический громкоговоритель (схема такого усилителя приведена на рис. 23).

Входной контур приемника выполняется точно таким же, как и в детекторном приемнике (см. рис. 17). Катушка L_2 содержит $^1/_{20}$ часть витков катушки L_1.

В каскадах усиления высокой частоты желательно использовать высокочастотные транзисторы с граничной ча-

стотой выше 1 *Мгц*. Удовлетворительно будут работать и транзисторы с граничной частотой 465 *кгц*.

Трансформатор $Тр_1$, включенный в цепь коллектора транзистора $Т_1$, выполняется на карбонильном сердечнике броневого типа или на оксиферовом кольце. Индуктивность первичной обмотки трансформатора должна быть в пределах 10—15 *мгн*. Слишком большая индуктивность образует совместно с выходной емкостью транзистора колебательный контур с резонансной частотой, лежащей в нижней части диапазона, тогда как желательно, чтобы трансформатор за счет паразитного резонанса поднимал усиление каскада вблизи верхней границы диапазона.

При намотке трансформатора на сердечнике из карбонильного железа типа СБ-2а, или СБ-3а, его первичная обмотка должна содержать 400—450 витков провода с эмалевой изоляцией диаметром 0,1—0,12 *мм*. Обмотка связи со следующим каскадом (вторичная обмотка) наматывается таким же проводом и имеет 80—90 витков.

В качестве сердечника трансформатора могут использоваться оксиферовые кольца с внешним диаметром от 7 до 20 *мм* или оксиферовые сердечники броневого типа (ОБ-12 и ОБ-20). Наилучшей величиной магнитной проницаемости оксиферовых сердечников с точки зрения использования их в высокочастотных цепях любительских приемников следует считать 400—600. Сердечники с большой величиной магнитной проницаемости (1 000—2 000) обладают большими потерями и сильной зависимостью проницаемости от температуры и постоянного тока подмагничивания.

Трансформатор $Тр_1$ с сердечником из оксифера должен иметь от 100 до 250 витков в первичной обмотке (в зависимости от размера и величины магнитной проницаемости сердечника). Вторичная обмотка во всех случаях содержит в 8—10 раз меньшее число витков, чем первичная. Обе обмотки наматываются проводом с эмалевой изоляцией диаметром 0,1—0,12 *мм*.

Конструктивное выполнение трансформатора $Тр_2$, включенного в цепь коллектора транзистора $Т_2$, такое же, как и трансформатора $Тр_1$, за исключением вторичной обмотки, число витков которой должно составлять половину числа витков первичной обмотки.

В качестве детектора можно использовать любые точечные германиевые диоды.

Схема двухкаскадного усилителя низкой частоты не отличается от изображенной на рис. 17.

Монтаж схемы приемника можно выполнить на изоляционной панели размерами 100×150 *мм*. Для крепления деталей на панели нужно установить необходимое количество специальных лепестков или штырьков из медного провода. Сердечник катушки контура, а также сердечники трансформаторов, если они броневого типа, можно приклеить к панели клеем БФ-2.

Тороидальные (кольцевые) сердечники крепятся с помощью изоляционной шайбы и винта, вставленного в отверстие сердечника. Намотку катушек на эти сердечники следует производить при помощи челнока, изготовленного

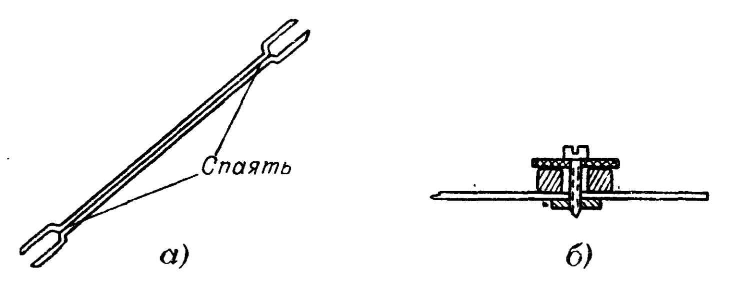


Рис. 21. Чертеж челнока для намотки тороидальных сердечников (*а*) и способ крепления тороидальных сердечников к изоляционной панели (*б*).

из провода. Чертеж челнока и способ крепления тороидального сердечника показаны на рис. 21.

Трансформаторы высокочастотных каскадов и катушку контура во избежание самовозбуждения приемника следует располагать на некотором удалении друг от друга (не ближе 3—5 *см*).

Наладку приемника, как обычно, нужно начинать с низкочастотных каскадов.

Настройку высокочастотных каскадов следует производить поочередно, подключив входной контур сначала к входу второго каскада, а затем, убедившись в его исправности, к входу первого.

Наладка апериодических усилителей высокой частоты проста и сводится по существу лишь к установлению требуемой величины коллекторного тока транзистора, равного 1 *ма*, и к подбору числа витков катушки связи контура L_2 с первым каскадом и вторичной обмотки трансформа-

тора Tp_1. Увеличение числа витков катушки приводит к повышению чувствительности приемника, но зато ухудшает его избирательность. Поэтому необходимо остановиться на некотором оптимальном варианте как с точки зрения чувствительности, так и с точки зрения избирательности. Коллекторный ток транзисторов устанавливается изменением величин сопротивлений R_1 (в первом каскаде) и R_4 (во втором каскаде).

В случае возникновения самовозбуждения каскадов усиления высокой частоты нужно попробовать поменять местами концы любой из обмоток трансформаторов. Если это не поможет, то следует уменьшить величины сопротивлений, шунтирующих первичные обмотки трансформаторов, или ввести в схему дополнительный фильтр питания, состоящий из сопротивления 100 *ом* и конденсатора 0,05 *мкф* (на рис. 20 показаны пунктиром).

Правильно смонтированный приемник начинает работать сразу же после установки требуемых режимов транзисторов. При хорошем громкоговорителе приемник обладает достаточно громким и неискаженным звучанием с малым уровнем шумов. Чувствительность приемника около 1 000 *мкв*.

Располагая двухсекционным конденсатором переменной емкости, можно сделать приемник прямого усиления более высокого класса, чем только что рассмотренный. Схема такого приемника изображена на рис. 22. Основное ее отличие от предыдущей заключается в том, что сопротивлением нагрузки первого каскада усиления высокой частоты является резонансный контур, настраиваемый одной из секций переменного конденсатора одновременно с входным контуром. Наличие в схеме второго настраиваемого резонансного контура улучшает избирательность приемника и повышает его чувствительность.

Схема приемника на рис. 22 несколько усложнена по сравнению с предшествующими за счет введения элементов, стабилизирующих режимы транзисторов. Однако наладка ее требует меньше времени и более проста в связи с тем, что необходимая величина коллекторного тока в транзисторных схемах с элементами стабилизации режима устанавливается автоматически без дополнительной регулировки.

Приемник рассчитан на работу в длинноволновом диапазоне. Его чувствительность равна 500 *мкв* (в пересчете на антенный вход). Питание осуществляется от любого ис-

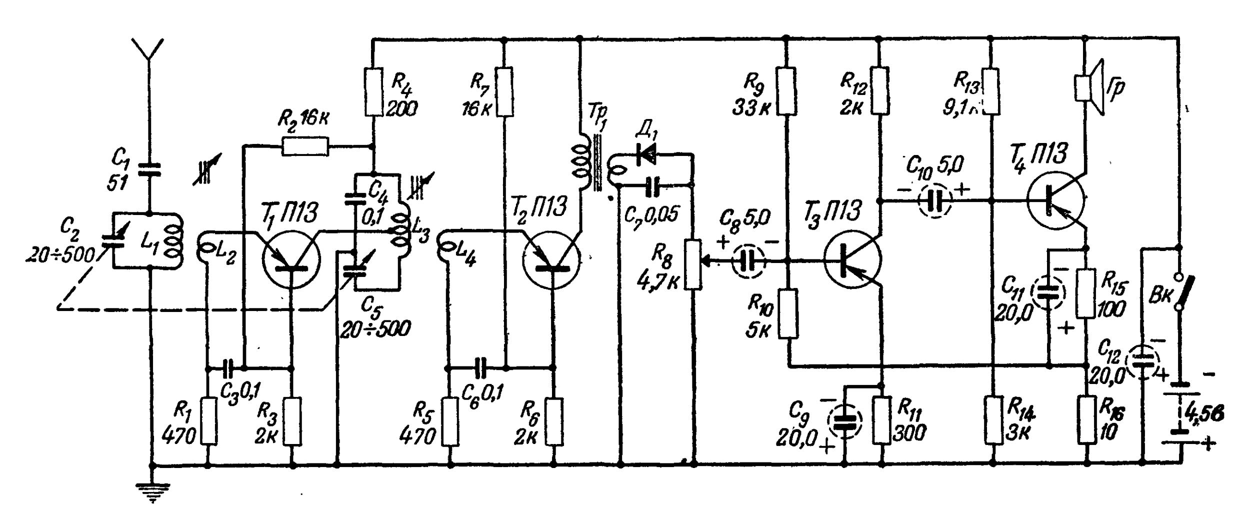


Рис. 22. Схема приемника прямого усиления с двумя настраиваемыми контурами.

точника напряжением 4,5—9 *в*. Потребляемый ток равен 10 *ма* при напряжении 4,5 *в*. Повышение напряжения питания не улучшает работу приемника и целесообразно только в случае применения громкоговорителя с высоким сопротивлением звуковой катушки (более 1 *ком*). При питании приемника от батареи для карманного фонаря ее энергии достаточно для работы в течение двух месяцев по 1,5—2 *ч* ежедневно.

Катушки индуктивности обоих контуров приемника наматываются на броневых сердечниках типов СБ-2а или СБ-3а и имеют по 250 витков провода с эмалевой изоляцией диаметром 0,15—0,2 *мм* соответственно. У катушки контура высокочастотного каскада делается отвод от 100-го витка. Начало катушки подключается к источнику питания, отвод — к коллектору транзистора, конец — к статорной пластине конденсатора переменной емкости. Обмотки связи обеих катушек наматываются проводом любого диаметра, умещающемся в сердечнике, и содержат по 15 витков.

Трансформатор второго каскада усиления высокой частоты выполняется таким же, как и в предыдущем приемнике.

Наладку приемников начинают с последних каскадов. Проверку работоспособности усилителей низкой частоты можно произвести с помощью обычного проигрывателя граммофонных пластинок, подключив его к входу усилителя.

Наладка высокочастотной части приемника сводится главным образом к сопряжению контуров, резонансные частоты которых при одинаковом положении роторных пластин конденсатора настройки могут различаться из-за различных значений паразитных емкостей монтажа. Кроме того, во входной контур включается емкость антенны, а в контур усилителя высокой частоты — емкость коллекторного перехода транзистора.

Сопряжение контуров следует производить по громкости звучания приемника, настроенного на самую длинноволновую станцию диапазона, изменением положения подстроечного сердечника катушки одного из контуров.

После этого приемник настраивают на хорошо слышимую наиболее коротковолновую станцию диапазона и параллельно одной из секций конденсатора настройки (к какой именно,—определяется практически) подключают конденсатор небольшой емкости (его величина определяется подбором). Емкость этого конденсатора, как правило, не

превышает 20—30 *пф*, поэтому его подключение незначительно скажется на настройке контуров в длинноволновой части диапазона.

При неудачном расположении контуров и высокочастотного трансформатора приемник может самовозбудиться. Появление самовозбуждения можно определить по изменению режима по постоянному току высокочастотных каскадов. Для этого параллельно сопротивлению R_5 подключают вольтметр постоянного тока. Запомнив его показание, следует закоротить пинцетом или отрезком провода первичную обмотку трансформатора, включенного в цепь коллектора транзистора T_2. Если при этом показание вольтметра изменится, то значит каскад генерирует.

Таким же образом проверяется и первый каскад. В случае генерации следует поменять местами концы обмоток связи контуров. Если это не поможет, то нужно попробовать зашунтировать контур высокочастотного каскада сопротивлением в 50—75 *ком*. При неудовлетворительном результате необходимо изменить взаимное расположение контуров и ввести дополнительные развязывающие фильтры в цепи питания транзисторов.

Хорошо отлаженный приемник при высокой экономичности и простоте обладает вполне удовлетворительными электрическими данными. При желании его выходная мощность может быть повышена путем замены низкочастотной части одним из усилителей низкой частоты, рассмотренных далее.

8. Усилители низкой частоты

Ниже приводятся схемы трех различных по сложности и выходной мощности усилителей низкой частоты.

Первый из них, схема которого изображена на рис. 23, выполнен на маломощных транзисторах типов П1, П6 или П13. Его выходная мощность составляет 0,2—0,25 *вт*. Питается усилитель от любого источника напряжением 9—15 *в*. Одним из вариантов питания являются две последовательно соединенные батареи от карманного фонаря типа КБС.

Усилитель потребляет ток 30—35 *ма* в режиме максимальной мощности. Выход усилителя рассчитан на работу с электродинамическим громкоговорителем, имеющим сопротивление звуковой катушки 5—8 *ом*. Входное сопротивление усилителя составляет 3—4 *ком*. Чувствительность, соответствующая номинальной мощности, равна 5 *мв*.

Усилитель содержит два каскада предварительного усиления на транзисторах T_1 и T_2, включенных по схеме с общим эмиттером, и выходной двухтактный каскад, работающий в режиме класса В, на транзисторах T_3 и T_4, включенных по схеме с общей базой. Усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью, улучшающей его частотную характеристику и повышающей входное сопротивление.

Выбранная схема выходного каскада обеспечивает малые нелинейные искажения и делает усилитель более экономичным, так как транзисторы T_3 и T_4 могут работать в этом случае при токе покоя коллектора порядка 1—2 *ма*.

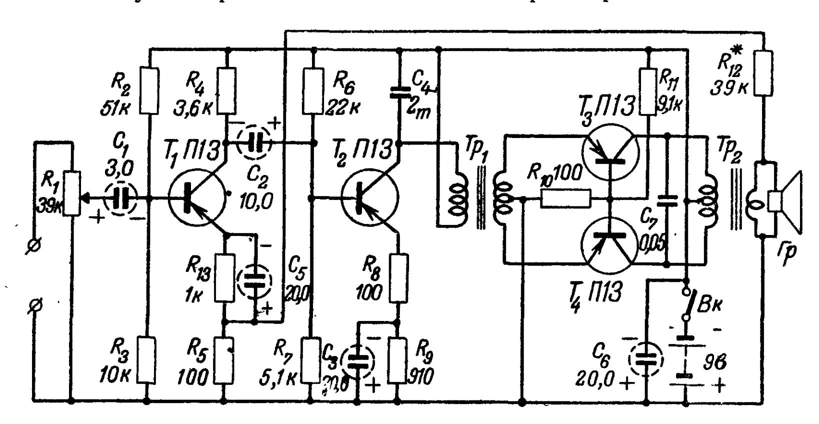


Рис. 23. Схема усилителя низкой частоты с выходной мощностью 0,2 *вт*.

Трансформатор Tp_1 выполнен на сердечнике из стальных пластин Ш-8, толщина набора 8 *мм*. Первичная обмотка трансформатора содержит 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12. Вторичная обмотка состоит из двух секций по 100 витков провода ПЭЛ 0,25 в каждой. Трансформатор Tp_2 собран на таком же сердечнике. Его первичная обмотка содержит две секции, по 640 витков провода ПЭЛ 0,14 каждая. Вторичная обмотка имеет 175 витков провода ПЭЛ 0,35.

Контроль режима каскадов можно производить по величине напряжения на коллекторе первого транзистора, которое должно быть порядка 4,5 *в*, и по напряжению на эмиттере второго транзистора, равному 1,5 *в*. Величины напряжений указаны по отношению к положительному по-

люсу источника питания. До установки в схему все транзисторы должны быть предварительно проверены на работоспособность.

В тех случаях, когда высокая чувствительность усилителя не нужна, первый его каскад может быть исключен. При этом входной сигнал следует подавать с движка переменного сопротивления R_1 на левую обкладку конденсатора C_2. Чувствительность усилителя понизится при этом до 50—100 *мв*.

Второй усилитель низкой частоты, схема которого изображена на рис. 24, рассчитан на выходную мощность

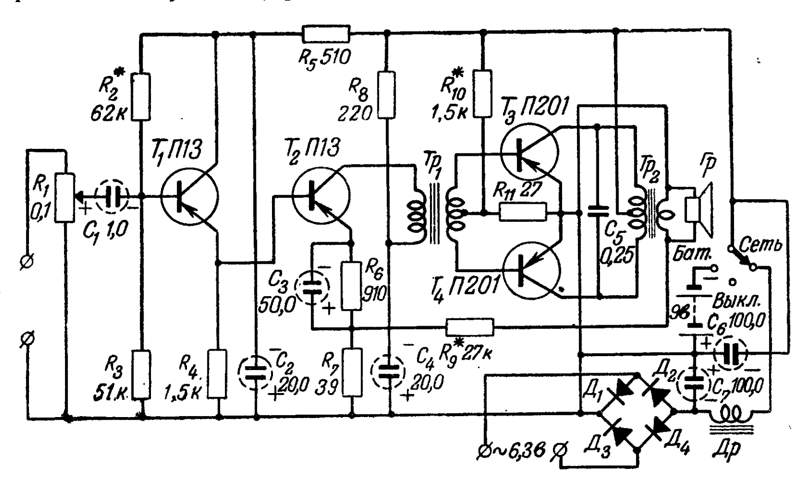


Рис. 24. Схема усилителя низкой частоты с выходной мощностью 1 *вт*.

1,2—1,5 *вт* при нагрузке 5 *ом*. Его входное сопротивление равно 20—30 *ком*. Чувствительность, соответствующая номинальной мощности, составляет 50 *мв*. Питание усилителя осуществляется от шести последовательно соединенных элементов типа «Сатурн» или от выпрямителя, на который подается переменное напряжение 6,3 *в* от накальной обмотки любого силового трансформатора, предназначенного для питания ламповых приемников.

Первый каскад усилителя собран по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель). При таком включении первого каскада усилителя его входное сопротивление имеет относительно большую величину. Второй каскад подключен к нагрузке первого непосредственно (без

переходной емкости), что улучшает общую частотную характеристику усилителя. Двухтактный выходной каскад выполнен на транзисторах П8А или П201. Ток покоя каждого транзистора составляет 10—15 *ма*. В режиме максимальной мощности усилитель потребляет ток, равный 250 *ма*.

Выходной трансформатор Tp_2 выполнен на сердечнике типа Ш-10 × 10 или Ш-12 × 12 из трансформаторной стали. Первичная его обмотка имеет две секции в каждой по 300 витков провода ПЭЛ 0,3—0,35. Вторичная обмотка содержит 130 витков провода ПЭЛ 0,6. При намотке трансформатора каждая из его обмоток должна занимать половину объема каркаса. Вторичная обмотка укладывается в первую очередь.

Трансформатор Tp_1 собран на сердечнике Ш-8×8 или Ш-10 × 10. Его первичная обмотка имеет 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а вторичная — две секции по 125 витков каждая, намотанные проводом ПЭЛ 0,15.

Диоды выпрямительного мостика — плоскостные, типа ДГ-Ц22—ДГ-Ц27. Дроссель *Др* наматывается на любом сердечнике из трансформаторной стали. Площадь сечения сердечника должна быть не менее 1,5 *см*². При сборке сердечника необходимо оставить в магнитопроводе воздушный зазор толщиной 0,1—0,15 *мм*. Намотка производится до заполнения каркаса проводом ПЭЛ 0,35.

Наладка усилителя сводится к проверке режима его транзисторов. Напряжение на эмиттерах транзисторов T_1 и T_2 должно быть равно 3 *в*.

Следует обратить внимание на правильность подключения цепи обратной связи. Дело в том, что отрицательная обратная связь, необходимая для улучшения общей характеристики усилителя, осуществляется при заземлении вполне определенного конца выходной обмотки трансформатора Tp_2. Если же концы обмотки поменять местами, то обратная связь при этом будет положительной, и схема может самовозбудиться.

На рис. 25 приведена схема 10-ваттного усилителя низкой частоты, который может быть использован в качестве небольшого трансляционного узла, обслуживающего 20—30 точек, потребляющих мощность 0,25—0,5 *вт* каждая. Его чувствительность составляет 10—20 *мв* при входном сопротивлении 20—30 *ком*.

Усилитель содержит четыре транзистора типов П1, П6

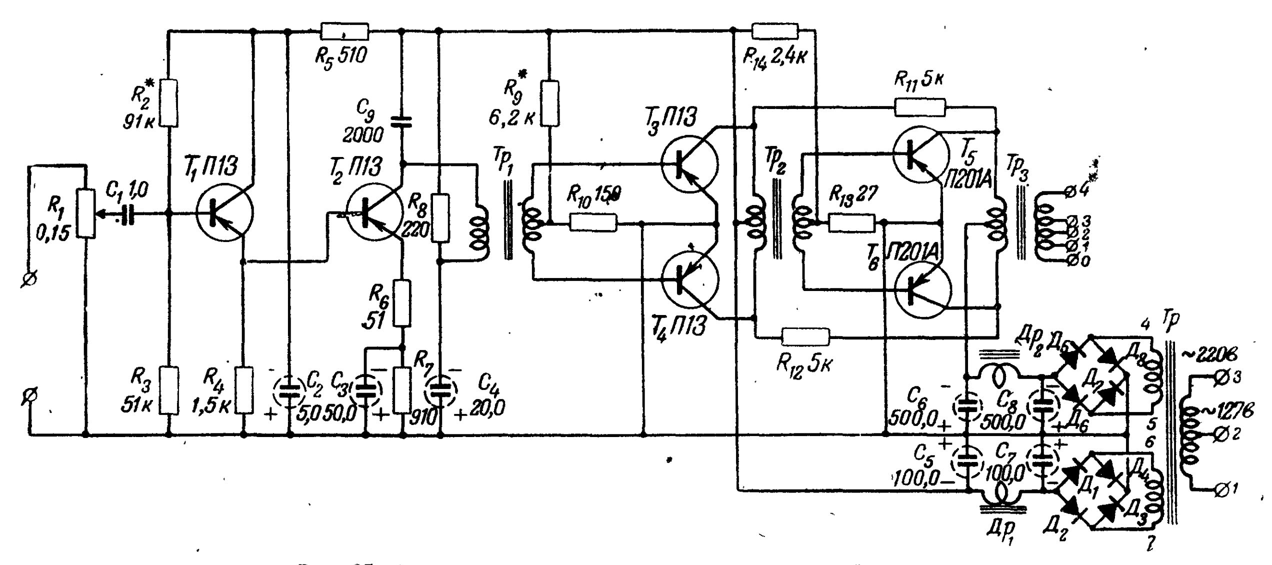


Рис. 25. Схема десятиваттного усилителя низкой частоты.

или П13 и два транзистора типа П201А. Питание усилителя осуществляется от сетевого выпрямителя. Выпрямленное напряжение питания составляет 12 *в*, а потребляемый от выпрямителя ток равен 1 *а*.

Первый каскад усилителя собран по схеме с общим коллектором, что обеспечивает относительно высокое входное сопротивление усилителя. Коллекторный ток первого каскада равен 2 *ма*. Для уменьшения уровня шумов усилителя в первом его каскаде желательно использовать транзистор малошумящей серии (П1Д, П6Д, П13Б).

Второй каскад собран по схеме с общим эмиттером. С первым каскадом он связан непосредственно (без разделительного конденсатора). Постоянное напряжение, выделяющееся на нагрузке эмиттерного повторителя, является одновременно напряжением смещения второго транзистора (ток транзистора T_2 равен 3 *ма*). Включенный в его коллекторную цепь трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике Ш-10 × 10. Первичная обмотка трансформатора содержит 3 000 витков провода ПЭВ 0,12, а вторичная — 2 × 500 провода ПЭВ 0,2.

Предоконечный каскад усилителя собран по двухтактной схеме с общими эмиттерами. Для улучшения линейности его транзисторы работают в режиме класса А с коллекторным током 5—7 *ма*.

Указанная величина тока коллектора устанавливается с помощью сопротивления R_9. Выходная мощность предоконечного каскада (около 100 *мвт*) вполне достаточна для раскачки оконечного каскада. Транзисторы, включаемые в предоконечный каскад, следует подобрать одинаковыми по величине коэффициента β.

Трансформатор $Тр_2$ выполняется на сердечнике Ш-10×10 из трансформаторной стали. Первичная обмотка трансформатора имеет две секции по 800 витков провода ПЭВ 0,15 в каждой. Вторичная обмотка состоит также из двух секций по 100 витков провода ПЭВ 0,35.

Выходной каскад собран также по двухтактной схеме на относительно мощных транзисторах типа П201А. Транзисторы работают в режиме, близком к классу В. При отсутствии входного сигнала выходной каскад потребляет от источника питания ток 15—20 *ма*. Благодаря этому обеспечивается высокая экономичность схемы.

Выходной трансформатор $Тр_3$ выполнен на сердечнике Ш-12 × 24 или любом другом с площадью сечения магни-

топровода 3—4 *см*². Первичная обмотка состоит из двух секций по 120 витков провода ПЭЛ 0,6. Вторичная обмотка имеет несколько выводов в расчете на различные нагрузочные сопротивления. Между выводами *0—1*, к которым подключается сопротивление нагрузки 1 *ом*, намотано 45 витков провода ПЭД 0,8. Между выводами *1—2* содержится 55 витков провода ПЭЛ 0,5. Сопротивление нагрузки 5 *ом* подключается между выводами *0—2* (100 витков). Между выводами *2—3* уложено 140 витков провода ПЭЛ 0,35, а между выводами *3—4* содержится 240 витков провода ПЭЛ 0,29.

Трансляционные громкоговорители, рассчитанные на номинальное напряжение 15 *в*, подключаются к зажимам *0—3*, а рассчитанные на напряжение 30 *в* — к зажимам *0—4*.

Силовой трансформатор *Тр* выполняется на сердечнике Ш-20 × 30 или на любом другом с площадью сечения магнитопровода 6—8 *см*². Первичная обмотка трансформатора имеет 1 500 витков провода ПЭВ 0,15 с отводом от 850-го витка (для подключения к электросети 127 *в*). Вторичных обмоток две. Обмотка *4—5* состоит из 80 витков провода ПЭЛ 1,0, а обмотка *6—7* — из 60 витков провода ПЭЛ 0,5.

Силовая часть усилителя содержит два выпрямителя с почти одинаковыми напряжениями на выходе. Объясняется это тем, что фильтрация выпрямленного напряжения при большом токе нагрузки выпрямителя весьма затруднительна. Поэтому предварительные каскады усилителя, наиболее чувствительные к уровню переменной составляющей в напряжении питания и в то же время потребляющие незначительный ток, питаются от отдельного выпрямителя, имеющего хороший фильтр.

Дроссель фильтра $Др_1$ наматывается на сердечник из пластин Ш-12 × 24 проводом ПЭЛ 0,2 до заполнения. Дроссель $Др_2$ выполнен на сердечнике Ш-20 × 20 и наматывается проводом ПЭЛ 1,0 также до заполнения.

Диоды $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$, $Д_4$ взяты типов ДГ-Ц21—ДГ-Ц24. В мощном выпрямителе используются либо германиевые диоды типа Д302, либо селеновые шайбы типа АВС-60-39, рассчитанные на средний выпрямленный ток 1,2 *а*.

Для обеспечения теплоотвода от корпусов мощных транзисторов выходного каскада каждый из них следует прикрепить к изолированной медной пластине площадью 50—70 *см*² и толщиной 3—5 *мм*.

Наладка схемы заключается в установке режима тран-

зисторов T_1 (сопротивлением R_2), T_3 и T_4 (сопротивлением R_9), а также в подборе наилучшей величины сопротивлений обратной связи R_{11} и R_{12}. Оценку качества работы усилителя следует производить, нагрузив его на сопротивление номинальной величины.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РЕФЛЕКСНЫЕ И СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЕ ПРИЕМНИКИ НАСТОЛЬНОГО ТИПА

9. Рефлексные приемники прямого усиления

Рассмотренные выше схемы приемников прямого усиления обладают существенным с точки зрения многих радиолюбителей недостатком: в них содержится относительно большое количество транзисторов. Однако существует способ сокращения числа транзисторов в приемнике прямого усиления при сохранении основных его качественных характеристик. В основу способа положено двукратное использование транзисторов при усилении сигнала. Идея двукратного использования транзисторов заключается в том, что сигнал, прошедший через ряд последовательно соединенных усилителей, вновь возвращается на вход этой же цепочки усилителей и подвергается вторичному усилению.

Совершенно очевидно, что повторное усиление сигнала одной и той же схемой возможно только в том случае, если до вторичного усиления сигнал существенно изменяет свою частоту. Это условие выполняется в рефлексных приемниках, так как во время первого цикла усиление сигнала в них происходит непосредственно на несущей частоте, а во время второго цикла — на звуковых частотах. Непременным условием хорошей работы таких приемников является тщательная фильтрация остатка высокочастотного сигнала на выходе детектора.

Наилучшим образом удовлетворяет этому условию детекторный каскад, собранный по двухполупериодной схеме выпрямления. При двухполупериодном детектировании происходит удвоение частоты выпрямляемого напряжения, основная же его частота на выходе детектора отсутствует. Оба эти свойства особенно ценны в рефлексном приемнике: удвоение частоты остатка несущей на выходе детектора облегчает фильтрацию низкочастотного сигнала, а уменьшение уровня сигнала основной частоты, возвращаемого на вход приемника, уменьшает опасность самовозбуж-

дения. Усложнение схемы приемника, связанное с введением в нее двухполупериодного детектора, невелико и вполне окупается перечисленными его достоинствами.

На рис. 26 приведена схема двухтранзисторного рефлексного приемника, равноценного по своим электрическим характеристикам четырехкаскадному приемнику прямого усиления, схема которого дана на рис. 20. Основные детали этих приемников — трансформаторы каскадов усиления высокой частоты, входной контур и громкоговори-

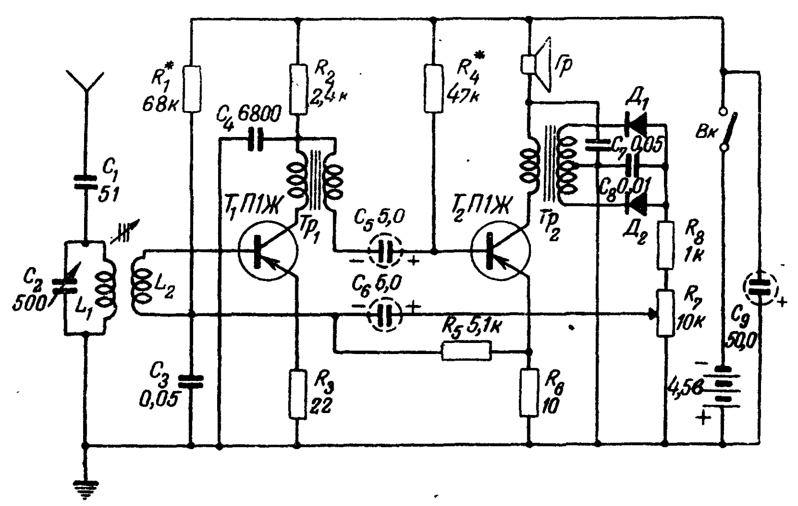


Рис. 26. Схема простого рефлексного приемника.

тель — идентичны. Исключением является только обмотка связи второго трансформатора с детектором, имеющая вдвое большее число витков с отводом от середины.

Принцип работы приемника заключается в следующем. Высокочастотный сигнал, выделившийся на входном контуре приемника, передается через обмотку связи L_2 на вход первого транзистора и, усиленный им, поступает с вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$ на базу второго транзистора. После усиления вторым транзистором сигнал детектируется и через П-образный фильтр нижних частот вновь поступает на вход первого каскада в виде напряжения звуковой частоты.

Для демодулированного сигнала первый каскад представляет емкостно-реостатный усилитель низкой частоты с активным сопротивлением R_2 в качестве нагрузки. Сни-

маемый с этого сопротивления низкочастотный сигнал подается на базу второго транзистора, в коллекторную цепь которого включен громкоговоритель. Для разделения сигналов разных частот по соответствующим нагрузкам сопротивление R_2 и громкоговоритель заблокированы конденсаторами C_4 и C_7.

При наладке схемы изменением величины сопротивления R_1 устанавливают ток транзистора T_1 такой величины (около 1 *ма*), при которой напряжение на коллекторе транзистора равняется половине напряжения батареи. Ток транзистора T_2 устанавливается в пределах 2—5 *ма* подбором величины сопротивления R_4.

После этого схема испытывается в режиме усиления низкой частоты. Для этого сопротивление R_8 выпаивается, а параллельно переменному сопротивлению R_7 подключается выход звукоснимателя. Окончательное уточнение режимов транзисторов производят, добиваясь наиболее громкого и неискаженного звучания. После этого вновь впаивают сопротивление R_8 и производят настройку входного контура на заданный диапазон по сигналам принимаемых станций. В случае самовозбуждения приемника на высокой частоте следует зашунтировать первичные обмотки трансформаторов сопротивлениями 15—20 *ком.*

Руководством по размещению деталей и монтажу рефлексного приемника могут служить соображения, изложенные при описании конструкций приемников прямого усиления.

Более удачным вариантом рефлексного приемника, обладающего лучшей чувствительностью и меньшей склонностью к самовозбуждению, является трехтранзисторный вариант, схема которого приведена на рис. 27.

Основное его отличие от предыдущего заключается в том, что первые два транзистора работают при усилении высокочастотного сигнала в схеме с общей базой, при усилении же сигнала звуковой частоты — в схеме с общим эмиттером. Это позволяет лучше использовать частотные свойства транзисторов и облегчает развязку высокочастотных и низкочастотных цепей приемника. Дополнительными особенностями этого приемника являются резонансная нагрузка первого усилителя высокой частоты и каскад усиления мощности с трансформаторной нагрузкой.

Этот вариант рефлексного приемника благодаря его относительно высоким электрическим характеристикам,

простоте и экономичности можно рекомендовать для широкого использования сельскими радиолюбителями.

Приемник рассчитан на прием радиостанций, работающих в длинноволновом диапазоне. В нем применены относительно низкочастотные типы транзисторов (П1Б—П1Г, П6Б—П6Г или П13, П14). Чувствительность его не хуже 500 *мкв*. Выходная мощность 40—50 *мвт*. Громкость звучания приемника обеспечивает хорошую слышимость

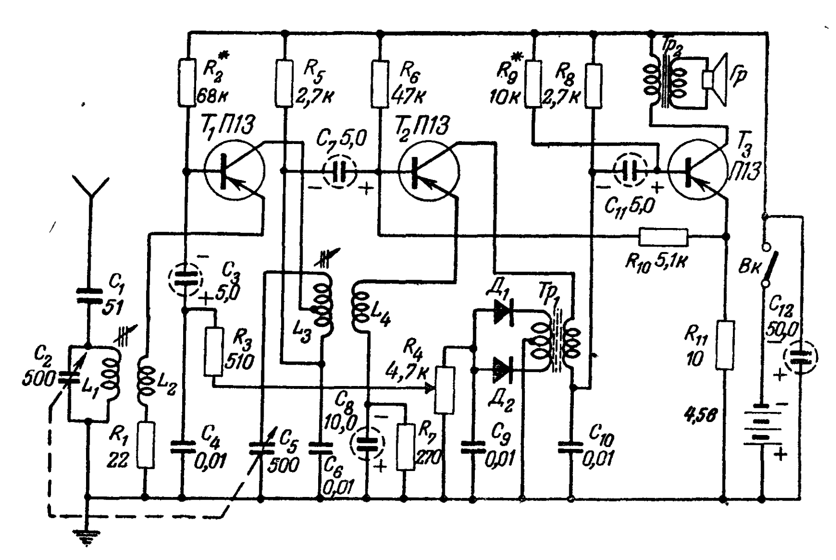


Рис. 27. Схема рефлексного приемника с двумя настраиваемыми контурами.

в комнате площадью 15—18 $м^2$. Потребляемый ток около 18 *ма* при напряжении питания 4,5 *в*. При питании от трех последовательно соединенных элементов типа «Сатурн» запаса энергии источника достаточно для непрерывной работы в течение 250 *ч*. При отсутствии указанных элементов их можно заменить батареей от карманного фонаря типа КБС.

Наилучшим вариантом конструктивного оформления приемника можно считать размещение его в корпусе трансляционного громкоговорителя, рассчитанного на выходную мощность 0,1—0,25 *вт*. Громкоговоритель с трансформатором используются для приемника. При этом значительно сокращается объем механических работ и выигрывает внешний вид приемника.

Сигнал принимаемой станции проходит по каскадам приемника в следующем порядке. Выделившись на входном контуре, настраиваемом с помощью одной секции конденсатора переменной емкости C_2, сигнал поступает через обмотку связи L_2 на эмиттер первого транзистора, который в данном случае является усилителем высокой частоты по схеме с общей базой. База заземляется с помощью конденсатора C_4. Нагрузкой усилителя служит резонансный контур, настраиваемый второй секцией конденсатора C_5. С этого контура через обмотку связи L_4 сигнал подается на эмиттер второго транзистора, также включенного по схеме с общей базой. Его нагрузкой служит высокочастотный трансформатор Tp_1, вторичная обмотка которого подключена к двухполупериодному детектору. С выхода детектора напряжение звуковой частоты вновь поступает на первый транзистор, но только уже на его базу. В цепи коллектора этого транзистора последовательно с резонансным контуром включено сопротивление R_5, являющееся нагрузкой транзистора в области низких (звуковых) частот. Таким образом, первый каскад наряду с усилением высокой частоты одновременно выполняет роль усилителя низкой частоты по схеме с общим эмиттером. Усиленный первым каскадом низкочастотный сигнал подается через конденсатор C_7 на базу второго транзистора, также выполняющего роль усилителя низкой частоты. С его нагрузочного сопротивления R_8 напряжение звуковой частоты поступает на оконечный каскад с транзистором T_3, в коллекторную цепь которого включен выходной трансформатор Tp_2.

Монтаж схемы приемника и расположение его деталей следует производить в соответствии с конструктивными особенностями корпуса используемого громкоговорителя. Чтобы не портить внешний вид ящика, монтажные панели желательно крепить к его стенкам с помощью клея БФ-2 или, что еще лучше, клеем № 88. Для облегчения наладки приемника и его последующего ремонта или переделки к корпусу приклеивают не сами монтажные панели, а только направляющие планки, в пазы которых вдвигают уже налаженные узлы приемника, смонтированные на отдельных изоляционных панелях.

Один из возможных вариантов конструктивного оформления приемника показан на рис. 28. Крепление деталей на панелях можно производить с помощью лепестков или проволочных штырьков.

Катушку индуктивности входного контура L_1 наматывают на карбонильном сердечнике типа СБ-2а или СБ-3а. Она имеет 250 витков провода ПЭЛ 0,15. Можно применять и любые другие типы сердечников, включая и стержневые, обладающие достаточной добротностью. Индуктивность этой катушки должна быть порядка 2—2,5 *мгн*. Обмотка связи, намотанная на этом же сердечнике таким же проводом, имеет 15 витков и укладывается сверху. Число витков ее может быть несколько изменено при наладке схемы для получения оптимального значения величины связи.

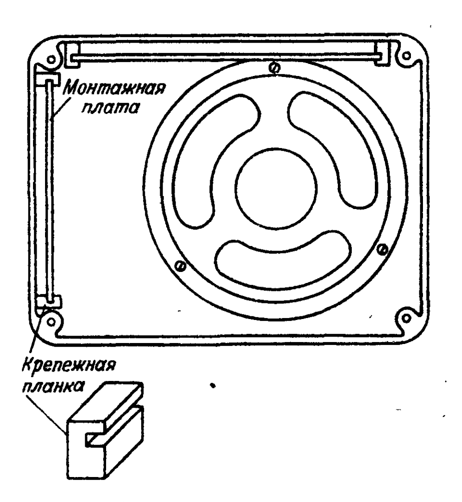


Рис. 28. Способ крепления монтажных плат к корпусу приемника.

Катушка индуктивности L_3 выполнена на таком же сердечнике и имеет такое же число витков. Однако в отличие от катушки входного контура ее обмотка имеет отвод от 100-го витка. В схему эту катушку включают таким образом, чтобы между коллектором транзистора и сопротивлением R_5 было 100 витков. Этим обеспечивается необходимая величина сопротивления нагрузки усилителя. При полном включении контура в коллекторную цепь транзистора ухудшается добротность контура, увеличивается опасность самовозбуждения каскада и при больших уровнях сигнала возникают нелинейные искажения, являющиеся следствием ограничения. Обмотка связи L_4 имеет 15 витков. Необходимость столь малой связи контура со следующим каскадом обусловлена весьма низким входным сопротивлением транзисторной схемы с общей базой.

Высокочастотный трансформатор $Тр_1$, включенный в цепь коллектора второго транзистора, может быть также намотан на карбонильном сердечнике броневого типа. Так как индуктивность его первичной обмотки должна иметь величину 10—15 *мгн* (что соответствует числу витков 500—550), то намотку трансформатора следует производить тон-

ким проводом (0,08—0,1 *мм*), тем более что внутри сердечника должна быть размещена еще обмотка связи, имеющая 200 витков с отводом от середины.

Этот трансформатор может быть выполнен и на оксиферовых сердечниках броневого типа ОБ-12 и ОБ-20, а также на ферритовых кольцах любого диаметра, но не менее 7 *мм*. Для трансформатора желательно использовать оксиферовые сердечники с величиной магнитной проницаемости, не превышающей 400. При использовании оксиферовых сердечников броневого типа первичная обмотка трансформатора должна содержать 100—150 витков, а вторичная — 50—75 витков с отводом от середины. Если трансформатор выполнен на тороидальном оксиферовом сердечнике с магнитной проницаемостью 200—400, то его первичная обмотка содержит 200 витков, а вторичная — 100 с отводом от середины. При большей величине магнитной проницаемости сердечника число витков соответственно уменьшается.

Выходной трансформатор Tp_2 может быть выполнен на сердечнике, использованном в трансформаторе громкоговорителя (площадь сечения центрального стержня сердечника трансформатора должна быть 0,5—1 *см*²). Первичная обмотка должна иметь 1 000 витков провода ПЭВ 0,12, вторичная — 200 витков провода ПЭЛ 0,5, если сопротивление звуковой катушки громкоговорителя составляет 4—6 *ом*. Если сопротивление громкоговорителя значительно отличается от указанной величины, то число витков вторичной обмотки следует определить по формуле

$$w_2 = w_1 \sqrt{\frac{R_{гр}}{150}},$$

где w_2 — число витков вторичной обмотки трансформатора;

w_1 — число витков первичной обмотки трансформатора;

$R_{гр}$ — сопротивление громкоговорителя, *ом*.

При сопротивлении обмотки громкоговорителя в пределах 150—400 *ом* трансформатор не нужен, а громкоговоритель можно включать непосредственно в цепь коллектора транзистора.

Сборку и наладку приемника следует производить покаскадно, начиная с выходного каскада. Предназначенные для использования транзисторы проверяют на исправность

с помощью омметра. Желательно измерить их коэффициенты усиления по току β, руководствуясь методикой, рекомендованной в первой главе. Из имеющихся в распоряжении транзисторов необходимо выбрать обладающие наибольшим усилением. Более высокочастотные типы транзисторов следует использовать в первых двух каскадах приемника. При проверке транзисторов надо обратить внимание на то, чтобы их коллекторный ток при разорванной цепи базы не превышал 0,5 *ма.*

Наладка выходного каскада сводится к установке коллекторного тока транзистора изменением величины сопротивления R_9. Величина этого тока должна быть равна 10—15 *ма.* Пусть не смущает то обстоятельство, что в таблицах указана величина максимально допустимого тока для транзисторов типов П1, П6 и П13 — 10 *ма.* Так как приемник питается весьма низким напряжением (4,5 *в*), можно допустить некоторое увеличение тока коллектора без сокращения срока службы транзистора. В рекомендуемом режиме мощность, рассеиваемая коллектором транзистора, не превышает 70 *мвт,* что почти вдвое меньше предельно допустимого значения. При подключении к налаженному каскаду (через переходный конденсатор) граммофонного звукоснимателя громкоговоритель приемника должен негромко, но без искажений воспроизводить проигрываемую запись.

Коллекторный ток второго транзистора должен быть равен 1 *ма.* Контроль величины тока можно производить по падению напряжения на нагрузочном сопротивлении R_8. Напряжение между выводами эмиттера и коллектора транзистора должно быть равно примерно половине напряжения питания. Установка режима производится изменением величины сопротивления R_6.

Аналогично устанавливается режим транзистора T_1. Величина его коллекторного тока должна быть порядка 1 *ма.*

После этого следует проверить совместную работу всех трех каскадов по усилению напряжения звуковой частоты. Для этого нижний вывод конденсатора C_3 отпаивается от схемы детектора и к нему подключается источник какого-либо сигнала звуковой частоты с небольшим выходным уровнем, например звукосниматель. При этом в случае исправности схемы в громкоговорителе должно быть слышно громкое неискаженное воспроизведение проигрываемой записи.

Убедившись в том, что низкочастотная часть приемника работает нормально, восстанавливают рефлексную связь и приступают к настройке высокочастотных каскадов.

Если при замыкании цепи рефлексной связи и выключенной антенне приемник воспроизводит какие-либо звуки шумового характера, значит, часть его каскадов самовозбудилась. Устранение паразитной генерации производится сменой концов обмоток связи контуров, шунтированием контуров и высокочастотного трансформатора сопротивлениями величиной 50—75 *ком,* увеличением емкости конденсаторов фильтра низкой частоты C_4 и C_9. После устранения генерации приемник с включенной антенной должен принимать наиболее мощные радиостанции его диапазона.

Для повышения чувствительности и избирательности приемника следует произвести сопряжение его резонансных контуров, частоты которых могут значительно отличаться. Методика настройки и сопряжения контуров была изложена при описании схемы на рис. 22.

10. Супергетеродинные приемники

При работе приемника прямого усиления в широком диапазоне частот каждый из его резонансных усилительных каскадов должен одновременно с входным контуром перестраиваться при изменении частоты приема. Это является источником ряда технических затруднений. Во-первых, стремление повысить чувствительность за счет увеличения числа каскадов усиления высокой частоты приводит к необходимости иметь большое количество сопряженных элементов плавной настройки частоты колебательных контуров. Во-вторых, изменение (в широких пределах) частоты настройки контуров с помощью только одного элемента каждого контура (емкости или индуктивности) существенно меняет резонансное сопротивление и полосу пропускания контура, что приводит к значительному изменению избирательности, чувствительности и полосы пропускания приемника в пределах диапазона. В-третьих, все транзисторы приемника, работающие в тракте усиления высокой частоты, должны иметь граничную частоту усиления, превосходящую максимальную частоту приема.

Более совершенными в этом отношении являются супергетеродинные приемники, которые полностью или частично лишены перечисленных выше недостатков. Принцип супер-

гетеродинного приема заключается в том, что принимаемый сигнал преобразовывается в колебания новой, так называемой промежуточной частоты, которая остается одинаковой для любой длины волны принимаемой станции и на которой происходит основное усиление сигнала.

В супергетеродинном приемнике сигнал принимаемой станции выделяется настраиваемым резонансным контуром и совместно с напряжением от имеющегося в приемнике специального генератора (гетеродина) поступает на так называемый смеситель (преобразователь), в котором образуется новая частота, равная разности частот подведенных к нему переменных напряжений. Закон изменения частоты гетеродина при вращении ручки общего органа настройки таков, что разность между частотами гетеродина и принимаемого сигнала во всем диапазоне приемника остается постоянной. Напряжение разностной (промежуточной) частоты сохраняет форму огибающей модулированного входного сигнала.

Так как преобразованный по частоте сигнал не изменяет частоту при перестройке приемника, то его можно усиливать неперестраиваемыми резонансными усилителями. При этом избирательность приемника, его полоса пропускания и чувствительность остаются неизменными во всем диапазоне приемника.

Величину промежуточной частоты можно выбрать такой, при которой допустимо использование в качестве усилителей наиболее доступных типов транзисторов, имеющих, как правило, невысокую граничную частоту усиления.

Число каскадов усиления промежуточной частоты транзисторного приемника определяется главным образом желаемой его чувствительностью. Практически, для обеспечения чувствительности транзисторного приемника, соответствующей требованиям к ламповым приемникам 3-го класса (300 *мкв*), достаточно иметь в нем два каскада усиления промежуточной частоты и транзисторный смеситель или три каскада усиления промежуточной частоты с диодным смесителем.

Нагрузкой транзисторного каскада усиления промежуточной частоты может служить либо одиночный настроенный контур, либо полосовой фильтр, состоящий из двух связанных между собой индуктивно или с помощью емкости контуров. Обладая несколько худшей частотной характеристикой в полосе пропускания и меньшим ослаблением сигналов соседних каналов, тракт промежуточной часто-

ты, выполненный на одиночных контурах, при равном усилении имеет значительно меньшие габариты и более прост в наладке, чем тракт с двухконтурными полосовыми фильтрами. Поэтому в простых конструкциях супергетеродинных приемников целесообразно использовать одноконтурные усилители промежуточной частоты. При конструировании же высококачественного приемника следует использовать двухконтурные полосовые фильтры.

Следует иметь в виду, что в связи с низкими величинами входных сопротивлений транзисторных каскадов использование в них типовых трансформаторов промежуточной частоты, применяемых в ламповых приемниках, затруднительно и связано либо с существенной переделкой этих трансформаторов, либо с увеличением числа транзисторов в приемнике. Поэтому конструирование приемника с самодельными полосовыми фильтрами оказывается более простой задачей, чем изготовление приемника с типовыми фильтрами.

На рис. 29 представлена схема двухдиапазонного любительского супергетеродинного приемника настольного типа. Приемник работает в диапазонах длинных (150—415 *кгц*) и средних (520—1 500 *кгц*) волн, перекрываемых с помощью стандартного сдвоенного конденсатора переменной емкости. Чувствительность приемника при работе от внешней антенны не хуже 300 *мкв*. Избирательность, характеризуемая ослаблением сигнала соседних станций, отстоящих по частоте на 10 *кгц* от принимаемого сигнала, равна 25 *дб*. Полоса пропускания тракта промежуточной частоты на уровне — 6 *дб* (2 раза по напряжению) составляет 10 *кгц*. Общая полоса пропускания тракта приемника 150—4 500 *гц*. Выходная мощность 50—80 *мвт*.

В приемнике используются транзисторы типов П401—П407 в смесителе и гетеродине и П6В (П13) — в остальных каскадах. Промежуточная частота приемника 110 *кгц*. Тракт промежуточной частоты содержит два полосовых двухконтурных фильтра с внешней емкостной связью между контурами и один резонансный контур. Схема выходного каскада — двухтактная. Приемник питается от трех последовательно соединенных элементов типа «Сатурн». Потребляемый в режиме максимальной мощности ток равен 25—30 *ма*. Одного комплекта источников питания хватает для непрерывной работы в течение 200—300 *ч*, что соответствует нормальной эксплуатации приемника в течение 2—3 мес.

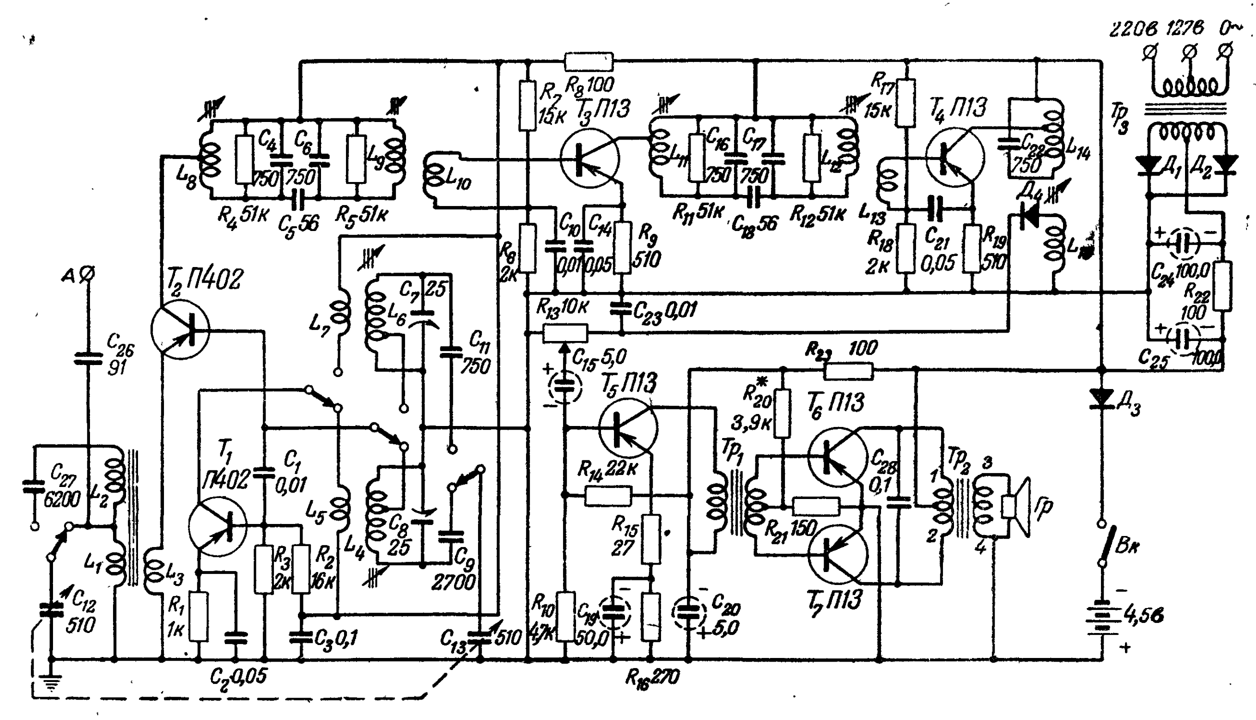


Рис. 29. Схема настольного супергетеродинного приемника.

В приемнике предусмотрена возможность питания от осветительной сети напряжением 120—220 *в*. При питании от электросети выходная мощность приемника повышается до 200—250 *мвт* в связи с увеличением питающего напряжения до 9 *в*.

Приемник компонуется в корпусе трансляционного громкоговорителя типа «Чайка-5», укомплектованном электродинамическим громкоговорителем типа 0,25 ГД-III-2 с номинальной выходной мощностью 0,25 *ва*. Можно использовать и любой другой трансляционный громкоговоритель с выходной мощностью, не превышающей 1 *ва*.

Антенный контур приемника состоит из катушки индуктивности, намотанной на ферритовом стержне Ф-600 (длиной 160 *мм* и диаметром 8 *мм*), и одной из секций сдвоенного конденсатора переменной емкости. Обмотка катушки контура состоит из двух секций, намотанных непосредственно на ферритовом сердечнике проводом ПЭВ или ПЭЛ диаметром 0,15 *мм*. Индуктивность секции L_1, используемой на средневолновом диапазоне, равна 0,17 *мгн*. Она содержит 70 витков. На длинноволновом диапазоне в контур включаются две последовательно соединённые секции L_1 и L_2. Их общая индуктивность равна 2,2 *мгн*. Число витков секции L_2 равно 140. Связь контура со смесительным каскадом (транзистор T_2) осуществляется с помощью отдельной обмотки связи L_3, имеющей 15 витков провода ПЭВ 0,15, намотанного на бумажном каркасе. Внутренний диаметр каркаса такой, что обмотка связи располагается поверх секции L_2 и может передвигаться вдоль оси сердечника, что необходимо при наладке приемника. Благодаря такому конструктивному выполнению антенного контура величина его связи со смесителем остается оптимальной при переключении диапазонов, несмотря на то, что число витков обмотки связи при этом не изменяется.

Гетеродин приемника собран по схеме с общим эмиттером. Связь контура с коллекторной цепью транзистора трансформаторная. Частота гетеродина на обоих диапазонах выше частоты принимаемого сигнала на 110 *кгц*. Катушки индуктивности контура гетеродина выполняются на различных сердечниках для средневолнового и длинноволнового диапазонов.

Катушка L_4 средневолнового диапазона наматывается на карбонильном сердечнике СБ-1а и содержит 60 витков провода ПЭЛ 0,15 с отводом от 10-го витка (заземляется начало катушки). Величина ее индуктивности 150 *мкгн*.

Обмотка связи контура L_5 имеет 30 витков провода ПЭЛ 0,15.

Катушка L_6 длинноволнового диапазона наматывается также на сердечнике типа СБ-1а, но содержит 240 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от 40-го витка (заземляется также начало катушки). Ее индуктивность равна 1,55 *мгн*. Обмотка связи L_7 имеет 100 витков такого же провода, что и катушка L_6.

Усилитель промежуточной частоты собран по схеме с общим эмиттером. В коллекторную цепь смесителя и первого каскада усиления промежуточной частоты (T_2 и T_3) включены двухконтурные полосовые фильтры с внешней емкостной связью между контурами. Полосовые фильтры изготовляются самостоятельно на сердечниках типа СБ-2а или СБ-3а.

В приемнике применено автотрансформаторное включение контуров в коллекторную цепь транзисторов. Этим достигается согласование усилителей с нагрузкой по сопротивлению и, кроме того, уменьшается величина емкости, вносимой транзистором в контур. Коэффициент трансформации подобран таким, чтобы величина сопротивления, включенного в цепь коллектора транзистора, составляла 5—7 *ком*.

Катушки L_8, L_{11} и L_{14} содержат по 250 витков провода ПЭЛ (или ПЭВ) диаметром 0,12—0,15 *мм* с отводом от 100-го витка. В цепь коллектора включается часть обмотки, содержащая 100 витков. Катушки L_9 и L_{12} имеют также по 250 витков провода диаметром 0,12 *мм*. Индуктивность каждой из катушек 2,8 *мгн*. Обмотки связи L_{10} и L_{13} имеют по 30 витков, а L_{15} — 100 витков провода ПЭЛ 0,1.

Для получения необходимой полосы пропускания фильтров промежуточной частоты (10 *кгц* на уровне — 2 *дб*) их контуры зашунтированы сопротивлениями. В результате этого эффективная добротность контуров имеет величину 22—27. Величина связи между контурами выбрана выше критической, а именно такой, при которой частотная характеристика каждого фильтра имеет провал на промежуточной частоте, равный ослаблению фильтра на границах полосы пропускания. Провал общей частотной характеристики двух полосовых фильтров компенсируется резонансной характеристикой одиночного колебательного контура, включенного в цепь коллектора последнего каскада усиления промежуточной частоты. Величина требуемой связи между контурами осуществляется выбором соответ-

ствующих номиналов конденсаторов C_5 и C_{18}.

В качестве выходного трансформатора $Тр_2$ используется трансформатор громкоговорителя. При этом требуется его перемотка. Имеющиеся на нем обмотки снимаются, а вместо них наматываются новые, одна из которых (*1—2*) имеет 1 300 витков провода ПЭЛ 0,15 с отводом от середины, а другая (*3—4*) — 180 витков провода ПЭЛ 0,35. Вторичная обмотка укладывается на каркас в первую очередь.

Трансформатор $Тр_1$ может быть выполнен на таком же сердечнике или сердечнике меньшего размера. Индуктивность его первичной обмотки должна быть 5—10 *гн*. Это соответствует намотке на сердечнике из стальных пластин Ш-8 × 8 2 000—2 500 витков провода ПЭЛ 0,12. Вторичная обмотка из провода ПЭЛ 0,12 в каждой своей секции должна содержать 1/6 числа витков первичной.

Силовой трансформатор $Тр_3$ наматывается на сердечнике Ш-12 × 24. Первичная обмотка трансформатора содержит 3 200 витков провода ПЭВ 0,12 с отводом от 1 800-го витка, а вторичная — 200 витков провода ПЭВ 0,35 с отводом от середины.

Диоды выпрямителя — плоскостные, типов ДГ-Ц21—ДГ-Ц27.

Детали приемника крепятся на изоляционных платах из гетинакса или текстолита толщиной 3—4 *мм*, располагаемых вдоль стенок корпуса громкоговорителя. Крепление плат осуществляется с помощью направляющих планок, приклеиваемых клеем № 88 или БФ-2 непосредственно к стенкам корпуса с внутренней их стороны.

В отверстия, насверленные в платах, впрессовываются штырьки из очищенного от изоляции медного провода диаметром 1—1,5 *мм*. К этим штырькам припаиваются мелкие детали (сопротивления, конденсаторы).

Крупные детали (карбонильные сердечники и др.) крепятся к платам с помощью винтов и клея. Контуры фильтров промежуточной частоты размещаются попарно в металлических экранах. Блок конденсаторов настройки привинчивается к днищу корпуса приемника. Ферритовый стержень антенны крепится к плате с помощью двух изоляционных стоек, в которых высверливаются отверстия с диаметром, равным диаметру стержня. Концы стержня вставляются в эти отверстия, после чего стойки приклеиваются к монтажной плате. Использование металлических крепежных деталей нежелательно, так как это ведет к уменьшению добротности входного контура.

Элементы схемы смесителя и гетеродина располагаются в непосредственной близости от переключателя диапазона. Для подключения источников питания на плате устанавливаются контактные пружины, позволяющие легко заменять сухие элементы без перепайки.

Наладку приемника начинают с установки режима выходного каскада. Методом перепайки подбирают такую величину сопротивления R_{20}, при которой суммарный ток транзисторов выходного каскада равен 5 *ма*. Как указывалось выше, необходимость установки отличного от нуля тока покоя двухтактного каскада с общими эмиттерами вызвана тем, что в режиме класса В без смещения такой каскад вносит большие нелинейные искажения. Режимы всех остальных каскадов устанавливаются автоматически, без каких-либо дополнительных регулировок.

Настройку каскадов усиления промежуточной частоты производят по форме результирующей частотной характеристики всего тракта. Методика настройки такова. К выходу детектора (параллельно сопротивлению R_{13}) подключают высокоомный вольтметр в режиме измерения постоянного напряжения. От концов катушки L_{12} отпаивают конденсатор C_{17} и вместо него подключают выход генератора стандартных сигналов ГСС-6 или выход самодельного сигнал-генератора. При этом катушки L_{12} и L_{13} служат согласующим трансформатором. Частота сигнал-генератора должна соответствовать средней точке полосы пропускания тракта промежуточной частоты (110 *кгц*). Колебательный контур $L_{14}C_{22}$ настраивают в резонанс перемещением подстроечного сердечника катушки индуктивности. Индикатором настройки служит вольтметр. Точная настройка контура соответствует максимальному отклонению стрелки прибора. Так как добротность контура невысока, то его резонансная кривая не имеет ярко выраженного максимума. Поэтому для более тщательной настройки частоту возбуждения каскада следует изменить на 5 *кгц* в обе стороны относительно номинального значения и настроить контур таким образом, чтобы показания вольтметра, соответствующие симметричным расстройкам сигнал-генератора, были одинаковыми.

Вслед за этим в такой же последовательности настраивают оба контура второго фильтра промежуточной частоты. Для того чтобы сильная связь между контурами не слишком маскировала точность настройки каждого из контуров в отдельности, емкость конденсатора связи C_{18}

следует уменьшить на время настройки в 3—5 раз. При настройке второго фильтра генератор подключают параллельно катушке L_9 вместо конденсатора C_6. После второго фильтра настраивают первый. Для этого сигнал-генератор связывают с антенной двумя-тремя витками провода, намотанного на ферритовый стержень. После настройки каждого очередного фильтра его схема (измененная во время настройки предыдущего фильтра) восстанавливается. Уровень на выходе сигнал-генератора следует поддерживать таким, чтобы ни в одном из каскадов усиления промежуточной частоты не было ограничения. В противном случае настройка будет произведена неверно.

Следует иметь в виду, что из-за сильной связи между контурами, включенными в цепь базы и цепь коллектора одного и того же транзистора, резонансная частота коллекторного контура несколько изменяется при настройке базового контура. По этой причине настройку тракта промежуточной частоты транзисторного приемника лучше производить не по показанию вольтметра постоянного напряжения, подключенного параллельно нагрузке детектора, а с помощью высокоомного вольтметра переменного напряжения, подключая его непосредственно к настраиваемому контуру.

После настройки тракта промежуточной частоты производят сопряжение входного и гетеродинного контуров. При этом генератор стандартных сигналов с включенной внутренней модуляцией связывают с антенным зажимом приемника через конденсатор емкостью 20—30 *пф*. Частоту генератора устанавливают в пределах 1—1,1 *мгц*. Переключатель диапазона приемника ставят в положение «средние волны» и вращением ручки конденсатора переменной емкости гетеродин настраивают на прием сигнала от генератора.

После этого подстройкой индуктивности гетеродинного контура и одновременным вращением ручки конденсатора добиваются максимальной громкости приема. Затем ротор конденсатора ставят в положение максимальной емкости, и изменением величины сопрягающего конденсатора C_9 при одновременной подстройке измерительного генератора вновь добиваются максимальной громкости приема. При этом частота измерительного генератора должна лежать в пределах 510—530 *кгц*.

Далее настройка производится в другом крайнем положении конденсатора переменной емкости вращением рото-

ра подстроечного конденсатора C_8. Если после окончательной настройки окажется, что диапазон приемника значительно выходит из заданных пределов (520—1 500 *кгц*), то настройку следует произвести заново, увеличив индуктивность катушки L_1, если сдвиг диапазона произошел в сторону увеличения граничных частот, или уменьшив ее, в противоположном случае.

Настройка длинноволнового диапазона производится в такой же последовательности.

Если радиолюбитель не располагает специальным измерительным генератором, то настройку входного и гетеро-

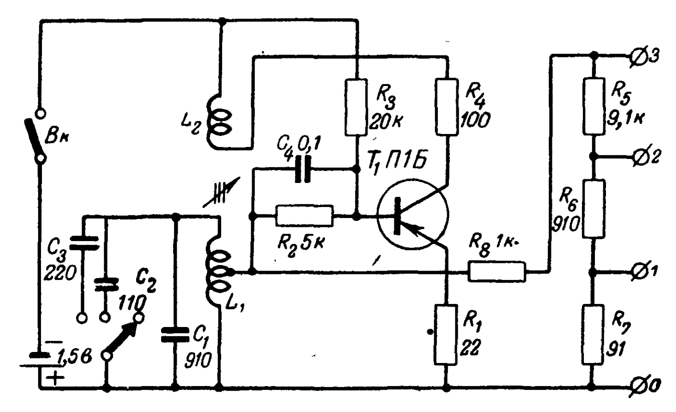


Рис. 30. Схема сигнал-генератора для настройки контуров промежуточной частоты.

динного контуров можно производить по сигналам принимаемых радиостанций также в трех точках диапазона. При сопряжении контуров следует остерегаться ложной настройки на зеркальную частоту. Для этого нужно убеждаться, что в каждой точке настройки приемника частота гетеродина лежит выше частоты принимаемого сигнала.

Для облегчения настройки тракта промежуточной частоты радиолюбитель может самостоятельно изготовить транзисторный измерительный генератор, схема которого показана на рис. 30. Частота генератора в среднем положении его переключателя равна 110 *кгц*, в двух крайних— 105 и 115 *кгц*. Питание генератора осуществляется от сухого элемента типа ФБС-0,25 напряжением 1,5 *в*. Максимальное выходное напряжение генератора 0,1 *в*. На выходе имеется ступенчатый делитель напряжения, с помощью

которого выходное напряжение можно изменять в сторону его уменьшения.

Генератор собирают на небольшой изоляционной плате. В нем используется транзистор типа П1, П6 или П13. Обе катушки генератора наматываются на одном сердечнике типа СБ-2а. Первая из них L_1 содержит 200 витков провода ПЭЛ 0,15 и имеет отвод от 30-го витка. Катушка L_2 содержит 100 витков такого же провода. Обмотка L_1 включается таким образом, чтобы между выходными зажимами *0* и *3* было подключено 30 витков. Если в собранной схеме генерация отсутствует, то нужно поменять местами концы катушки L_2.

На рис. 31 изображена схема другого супергетеродинного приемника, более простого в наладке, но обладающего несколько худшими электрическими характеристиками (меньшей чувствительностью, худшей избирательностью).

Основное отличие его от предыдущего заключается в том, что тракт промежуточной частоты выполнен в нем на одиночных последовательных контурах. Известно, что добротность последовательного контура, а следовательно, и величина его резонансного тока тем выше, чем меньшее активное сопротивление включено последовательно с его реактивными элементами (L и C). Поэтому все каскады усиления промежуточной частоты собраны в нем по схеме с общей базой, так как в этой схеме величина входного сопротивления транзистора (включаемого последовательно с контуром) минимальна и лежит в пределах 30—50 *ом*. Коэффициент усиления по напряжению каждого каскада усиления промежуточной частоты с последовательными контурами равен приблизительно величине добротности контура.

Катушки контуров промежуточной частоты L_8 и L_9 наматываются на сердечниках типа СБ-2а и имеют по 350 витков провода ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,12 *мм* с отводом от середины. Все остальные детали приемника такие же, как и у предыдущего.

Для обеспечения необходимой полосы пропускания тракта промежуточной частоты приемника частоты настройки двух его контуров промежуточной частоты следует сдвинуть на 3—4 *кгц* в разные стороны от номинального значения. При этом контур, нагруженный на детектор, настраивают точно на частоту 110 *кгц*, а два предыдущих контура — на частоты 113 и 107 *кгц*

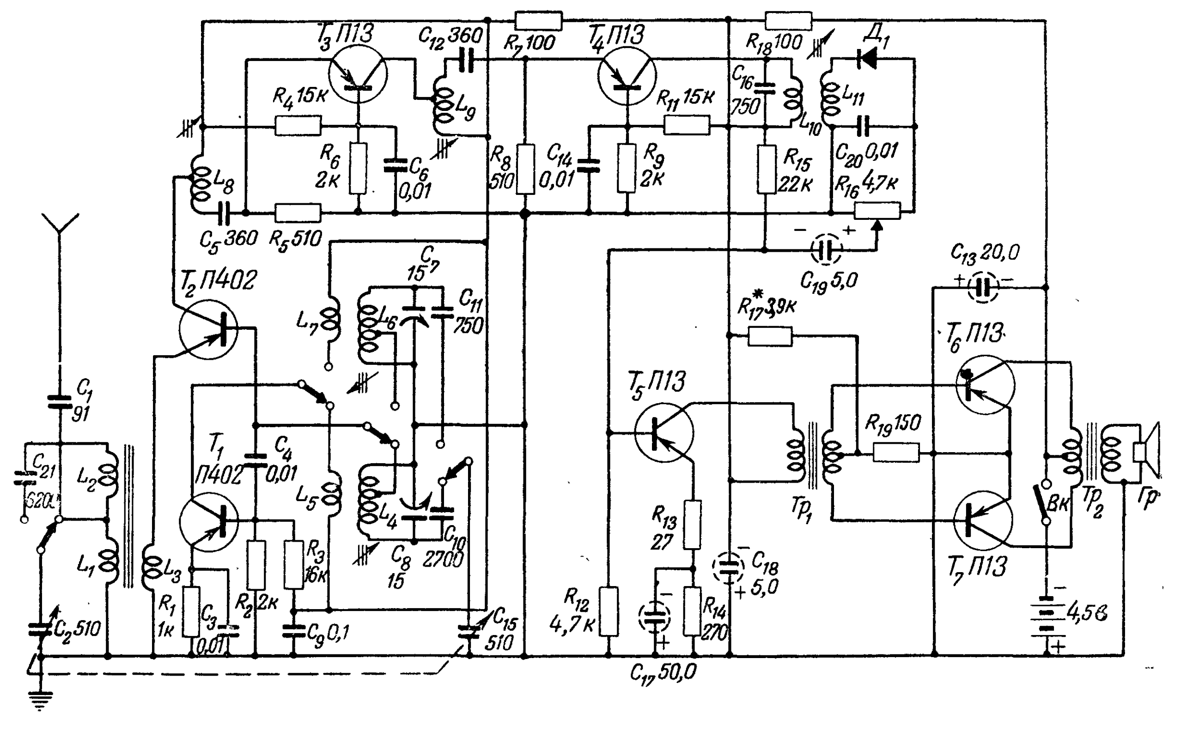


Рис. 31. Вариант схемы супергетеродинного приемника с последовательными одиночными контурами в фильтрах промежуточной частоты.

Наладку и настройку приемника с последовательными контурами промежуточной частоты производят в такой же последовательности, как и наладку предыдущего приемника.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

КАРМАННЫЕ И ПЕРЕНОСНЫЕ ПРИЕМНИКИ

Только с момента изобретения транзистора появилась реальная возможность конструирования в любительских условиях миниатюрных карманных приемников. Но создание действительно малогабаритного устройства, удовлетворяющего хотя бы самым скромным требованиям в отношении его электрических характеристик,—задача довольно сложная даже при наличии транзисторов, без которых она была бы просто неразрешимой. Для удачного ее решения недостаточно иметь хорошие технические пособия и руководства, нужны также смекалка и умелые руки.

Работу по конструированию миниатюрных приемников затрудняет отсутствие готовых малогабаритных громкоговорителей и конденсаторов переменной емкости. Их приходится изготовлять самостоятельно. Использование в миниатюрных приемниках внутренних магнитных антенн, имеющих небольшую действующую высоту, предъявляет довольно жесткие требования к чувствительности приемника. В то же время чувствительность находится в прямой зависимости от сложности схемы и, следовательно, от размеров устройства. Большой коэффициент усиления схемы приемника — одна из причин его самовозбуждения. Уплотненная же компоновка с максимальным использованием объема увеличивает опасность самовозбуждения, — вот неполный перечень сложных и противоречивых вопросов, без решения которых невозможно создать хороший карманный приемник.

На какой же схеме остановить свой выбор? Какая из схем наиболее полно удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к приемникам такого вида? На этот вопрос нельзя ответить однозначно. Тем не менее в каждом конкретном случае можно указать оптимальный вариант схемы приемника.

Для облегчения выбора схемы приведем сравнительные характеристики двух наиболее употребительных приемников — рефлексного и супергетеродинного.

Рефлексный приемник карманного типа относительно прост по схеме, содержит небольшое количество транзисторов и других деталей и только один конденсатор переменной емкости. К числу недостатков приемника с рефлексной схемой следует отнести невысокую чувствительность, плохую избирательность и сложность наладки, усугубляемую тем, что схема предрасположена к самовозбуждению. Дело в том, что в схемах прямого усиления основное усиление сигнала ведется на частоте настройки входного антенного контура. Так как в миниатюрных приемниках антенна расположена в непосредственной близости с контурами и трансформаторами усилителей высокой частоты, которые являются источниками излучения той же частоты, на которую настроен антенный контур, то вероятность самовозбуждения весьма высока.

В приемниках супергетеродинного типа основное усиление сигнала осуществляется на промежуточной частоте, значительно отличающейся от частоты настройки антенного контура. Это снижает опасность самовозбуждения. Чувствительность супергетеродинного приемника выше, а избирательность намного лучше, чем рефлексного. Однако последнее обстоятельство несущественно для карманных приемников, принимающих, как правило, две — три местных станции, которые всегда значительно отличаются по частоте.

Супергетеродинный приемник содержит большее по сравнению с рефлексным количество транзисторов и прочих деталей. Конструкция супергетеродинного приемника с плавной настройкой непременно содержит сдвоенный блок конденсаторов переменной емкости.

Окончательному выбору схемы приемника должна предшествовать работа по подбору деталей и полуфабрикатов. Такие элементы приемника, как громкоговоритель, конденсатор переменной емкости и источники питания, в значительной степени определяют схему будущего приемника.

Если в распоряжении радиолюбителя имеется малогабаритный сдвоенный блок конденсаторов настройки или же его изготовление не представляет сложности и если он имеет высококачественный миниатюрный электродинамический громкоговоритель, то в этом случае предпочтение следует отдать супергетеродинной схеме, которая полнее реализует ценные свойства указанных деталей.

Если же в приемнике предполагается использовать телефонный капсюль, частотная характеристика которого

едва удовлетворительна, то нет смысла собирать сложную схему с отличными электрическими характеристиками, потому что эти характеристики все равно будут испорчены звуковоспроизводящим устройством. В этом случае выбор лучше остановить на более простой в изготовлении схеме рефлексного приемника.

11. Карманные приемники рефлексного типа

На рис. 32 и 33 приведены две схемы рефлексных приемников. Эти схемы различаются только способом настройки входного контура и конструкцией выходного каскада. В остальном они одинаковы.

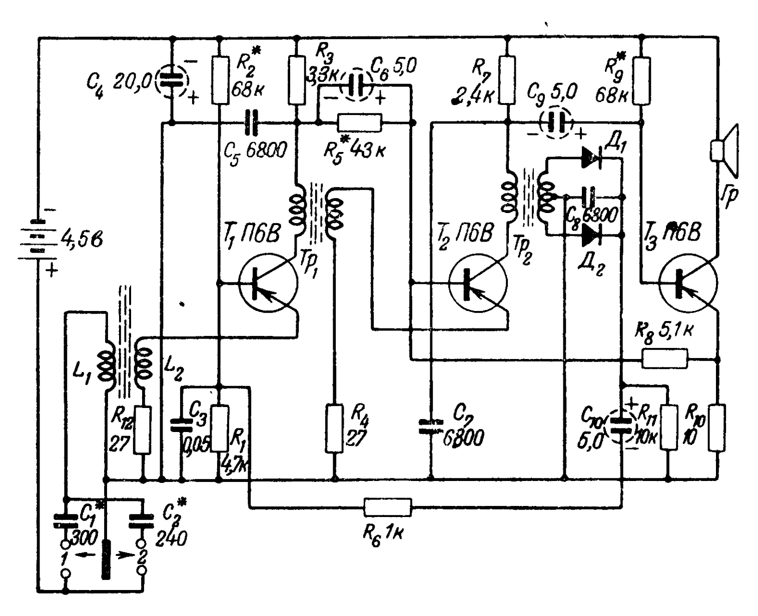


Рис. 32. Схема рефлексного приемника карманного типа с фиксированной настройкой.

Первая схема более простая. Ее входной контур настраивается с помощью переключаемых конденсаторов на две местные радиостанции, а выходной каскад выполнен с непосредственным включением громкоговорителя в цепь коллектора.

Вторая схема содержит односекционный конденсатор

настройки антенного контура и двухтактный выходной каскад.

Обе схемы приемников обеспечивают громкоговорящий прием местных радиовещательных станций на расстоянии 30—50 *км*.

Принцип построения обеих схем такой же, как и в описанном ранее рефлексном приемнике. Первые два каскада работают одновременно усилителями высокой и низкой (звуковой) частоты, а последние — в режиме усиления мощности звукового сигнала.

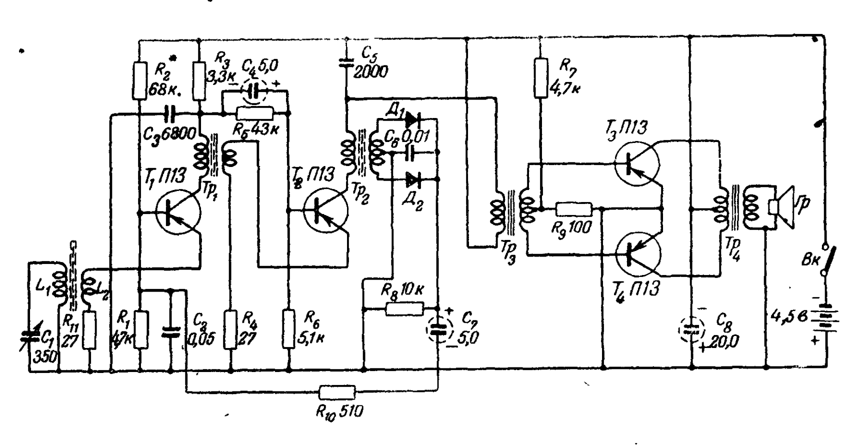


Рис. 33. Схема рефлексного приемника карманного типа с плавной настройкой.

Катушка антенного контура приемника L_1 наматывается в один слой виток к витку на ферритовом стержне Ф-600, проводом с эмалевой изоляцией диаметром 0,15—0,2 *мм*. Стержень может быть круглого или прямоугольного сечения площадью не менее 0,5 *см*^{2}. Длина его определяется длиной корпуса приемника и не должна быть меньше 7—8 *см*. Витки катушки укладываются вблизи от одного из концов стержня на длине 40—50 *мм*.

Число витков катушки L_1 зависит от магнитной проницаемости стержня и его длины. Чем короче стержень, тем большее количество витков должна содержать катушка для получения заданной индуктивности (2,5—3 *мгн*). Точность подгонки величины индуктивности не обязательна, так как настройка контура производится подбором емкости конденсатора.

Катушка связи L_2 содержит в 15 раз меньшее число витков, чем катушка контура L_1. Ее намотку следует производить не на стержне, а на склеенной из бумаги трубке, форма сечения которой соответствует сечению стержня. Эта трубка с уложенной на нее обмоткой должна без труда перемещаться вдоль оси стержня. Этим перемещением достигается подбор оптимальной величины связи контура с усилителем высокой частоты.

Трансформатор усилителя высокой частоты $Тр_1$ наматывается на оксиферовом кольце с внешним диаметром 7—10 *мм*. Желательно, чтобы материал сердечника имел величину магнитной проницаемости не выше 600—1 000. Могут быть использованы также ферритовые сердечники броневого типа СБН-12 (из никель-цинкового феррита) с внешним диаметром 12 *мм*, изготовленные из материала Ф-400 или Ф-600 или Ш-образные ферритовые сердечники из феррита Ф-400.

Первичная обмотка трансформатора при любом из указанных типов сердечников имеет 150—200 витков провода марки ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,1—0,2 *мм*. Индуктивность этой обмотки должна быть 10—20 *мгн*. Вторичная обмотка трансформатора содержит 1/10 числа витков первичной обмотки и наматывается таким же проводом.

Трансформатор $Тр_2$ имеет аналогичную конструкцию, за исключением вторичной обмотки, которая содержит половину числа витков первичной и имеет отвод от середины.

Диоды двухполупериодного детектора $Д_1$ и $Д_2$—точечные, типов ДГ-Ц1—ДГ-Ц8, Д1, Д2 или Д9. Все детали приемника надо подбирать по возможности малогабаритными (сопротивления типа УЛМ, электролитические конденсаторы типа ЭМ, ЭММ или ЭТО). В качестве громкоговорителя используется микротелефонный капсюль любого типа (желательно ДЭМ или ДЭМШ). Возможно использование самодельного малогабаритного громкоговорителя электродинамического типа.

Во всех случаях желательно наличие бумажного диффузора, который можно изготовить самостоятельно (бумажный диффузор улучшает частотную характеристику телефонного капсюля в области нижних частот). Для изготовления диффузора необходимо сделать из металла или термостойкой пластмассы матрицу (рис. 34,*а*). Эта работа может быть выполнена только на токарном станке. В готовую матрицу обернутую сверху для создания стенок сосуда

несколькими слоями алюминиевой фольги, заливается расплавленное олово или свинец. Таким образом изготовляется пуансон. Чтобы пуансон можно было свободно вынуть из матрицы, ее коническая поверхность до заливки слегка протирается машинным маслом, уменьшающим сцепление материалов матрицы и пуансона.

Изготовление диффузора производится в такой последовательности.

Из фильтровальной бумаги (можно и из обыкновенной промокашки) вырезают круг диаметром, равным внешнему диаметру матрицы. Этот круг бумаги пропитывают в течение 10—15 *мин* теплой водой, после чего в намоченном

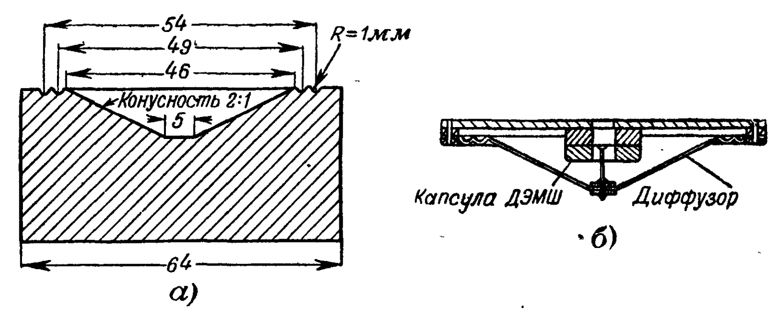


Рис. 34. Способ изготовления громкоговорителя с капсюлем ДЭМШ. *а* — чертеж матрицы для штамповки диффузора; *б* — чертеж громкоговорителя в сборе.

состоянии кладут в матрицу и легкими движениями пальцев деформируют, придавая форму усеченного конуса.

Не следует растирать бумагу вдоль ее поверхности, так как при этом бумага разрушается. Нужно давить на нее в направлении, перпендикулярном к поверхности, придавая ей требуемую форму. После того, как бумага по всей поверхности придет в соприкосновение с матрицей, нужно расправить появившиеся на ней складки. Оставшиеся после этого небольшие неровности бумаги следует выровнять легким постукиванием небольшого молотка или с помощью какого-либо другого металлического инструмента. При этом необходимо остерегаться пробоя бумаги.

По окончании этой работы в матрицу вкладывают пуансон и всю конструкцию помещают под пресс (под предмет весом 60—100 *кг*). Нужно следить за тем, чтобы пуансон во время укладки под пресс не совершал вращательного движения относительно матрицы. Тяжесть пресса

должна быть равномерно рассредоточена по поверхности пуансона.

После получасового пребывания матрицы под прессом ее вынимают и сушку диффузора производят в открытом состоянии. После того, как диффузор высохнет, его центральную часть (начиная от первого гофра и до вершины конуса) пропитывают растворенным в дихлорэтане органическим стеклом. Раствор должен быть жидким. Пропитку следует производить несколько раз до получения необходимой плотности диффузора. Гофры не пропитываются.

При отсутствии указанного раствора диффузор можно пропитать жидким клеем БФ-2, но этот вариант хуже.

После пропитки и вторичной сушки диффузор снова укладывают в матрицу, закрывают пуансоном и прессуют легкими ударами деревянного молотка по пуансону. Этим достигается лучшая проработка гофров.

К якорю или мембране телефонного капсюля диффузор приклеивают плоской вершиной усеченного конуса клеем № 88 или БФ-2. Если непосредственное соприкосновение диффузора и якоря (мембраны) капсюля невозможно из-за особенностей конструкции последнего (например, в капсюлях типа ДЭМШ), то к якорю нужно прикрепить стальную иглу и уже к ней приклеивать диффузор. При этом усеченная часть конуса диффузора должна быть сделана жесткой. Для этого на нее с обеих сторон наклеивают кружки из плотного картона толщиной 0,5—0,7 *мм*, пропитанные клеем. В центре кружков прокалывают отверстие, в которое и вставляется стальная игла диаметром 0,15—0,2 *мм*.

К якорю или мембране капсюля иглу приклеивают в стык клеем № 88 таким образом, чтобы создаваемые мембраной колебания имели направление распространения, совпадающее с осью иглы. К диффузору игла приклеивается только после окончательной сборки громкоговорителя. На рис. 34,*б* приведен конструктивный чертеж громкоговорителя, сделанного из капсюля типа ДЭМШ.

В качестве источников питания приемника могут служить три последовательно включенных элемента типа ФБС-0,25 либо три галеты от анодной батареи слухового аппарата. В первом варианте комплекта источников питания хватает на 50—80 *ч*, а во втором — на 20—30 *ч* работы приемника.

Наладку схемы начинают с установки режима транзистора T_3. Коллекторный ток транзистора, устанавливаемый подбором сопротивления R_9, должен иметь величину 3—

4 *ма* при сопротивлении громкоговорителя 150—500 *ом*. При большей величине сопротивления громкоговорителя ток должен быть уменьшен до значения, при котором падение напряжения на сопротивлении громкоговорителя составляет 0,3—0,5 напряжения источника питания.

Если в приемнике предполагается установить электродинамический громкоговоритель и сопротивление его звуковой катушки значительно меньше 150 *ом*, то его следует включать в коллекторную цепь транзистора через понижающий трансформатор, отношение числа витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток которого определяется формулой

$$w_2 = w_1 \sqrt{\frac{R_{гр}}{200}},$$

где $R_{гр}$ — сопротивление громкоговорителя постоянному току, *ом*.

Трансформатор может быть выполнен на Ш-образном сердечнике из пермаллоя или трансформаторной стали с площадью сечения среднего стержня 0,25—0,5 $см^2$. Первичная обмотка должна иметь индуктивность 1—2 *гн*. Диаметр провода обмоток выбирается в зависимости от размеров сердечника таким, чтобы каждая из них заполняла половину объема каркаса катушки трансформатора.

Так как между транзисторами T_1 и T_2 имеется связь по постоянному току через сопротивление R_5, и по этой причине ток второго транзистора зависит от величины напряжения на коллекторе первого, то сначала следует установить режим первого каскада, а уже затем второго. Коллекторный ток транзистора T_1 должен иметь величину 0,8—1 *ма*. При этом напряжение между коллектором и эмиттером равно 2—2,5 *в*.

Связь по постоянному току между первым и вторым каскадами приемника введена умышленно по следующим соображениям. Все пригодные для малогабаритного приемника источники питания, доступные радиолюбителям, обладают большим внутренним сопротивлением, что вызывает паразитную положительную обратную связь между каскадами. Если при этом смещение на базу транзистора T_2 подавать обычным способом (т. е. от общей батареи питания), то пара транзисторов T_2 и T_3 образует мультивибратор с положительной обратной связью через сопротивление источника питания. При неблагоприятном стечении обстоятельств этот мультивибратор возбуждается, генерируя

импульсы, следующие с весьма низкой частотой (10—20 *гц*). Эта генерация проявляется в ритмичном колебании диффузора громкоговорителя и не может быть ликвидирована обычными способами, например введением развязывающего фильтра, так как в связи с очень низкой частотой генерации емкость конденсаторов фильтра должна быть чрезвычайно большой.

В рассматриваемых схемах обратная связь между каскадами благодаря повороту фазы на 180° в первом каскаде превращается из положительной в отрицательную. Этим устраняется причина самовозбуждения приемника.

Вслед за установлением режима первого каскада регулируется ток второго транзистора подбором величины сопротивления R_5. Величина этого тока 0,8—1 *ма*.

После того, как режимы всех транзисторов установлены, трехкаскадный усилитель низкой частоты приемника должен нормально работать. Убедиться в этом можно, подключив к схеме через электролитический конденсатор звукосниматель. При этой проверке цепь рефлексной связи следует разорвать.

Наладка высокочастотной части приемника сводится к подбору конденсаторов (по емкости) антенного контура, при которых его настройка соответствует частотам выбранных станций.

В связи с применением в приемнике двухполупериодного детектора возможность его самовозбуждения по цепи рефлексной связи весьма мала. Поэтому в случае возникновения паразитной генерации по высокой частоте ее причину следует искать прежде всего в неудачном расположении деталей по отношению к магнитной антенне.

Для облегчения процесса наладки приемника его схему можно смонтировать сначала на изоляционной плате относительно больших размеров. Это обеспечит свободный доступ ко всем деталям приемника. После того, как схема в таком конструктивном выполнении будет работать нормально, можно приступить к ее окончательной компоновке.

В качестве корпуса приемника можно использовать готовую пластмассовую шкатулку подходящих размеров или портсигар (не металлический). Внешний вид такого корпуса обычно лучше, чем у самодельного. Внутренние размеры корпуса определяются габаритами наиболее громоздких деталей приемника (громкоговорителя, источников питания и ферритового стержня антенны); в связи с этим подбирать или изготавливать корпус следует только

после того, как окончательно выяснятся общие габариты приемника.

Схема второго рефлексного приемника (рис. 33) отличается от предыдущей (рис. 32) незначительно. Использование в ней конденсатора переменной емкости позволяет плавно изменять частоту настройки, что необходимо для работы приемника в различных городах.

В качестве конденсатора настройки C_1 может быть использован несколько переделанный керамический подстроечный конденсатор типа КПК-3. Переделка заключается в уменьшении толщины керамического диска роторной части конденсатора. Для этого конденсатор разбирают, и его керамический диск (покрашенный в красный цвет) шлифуют со стороны внутренней поверхности мелкой наждачной бумагой или оселком для правки бритв. Во время работы нужно следить, чтобы шлифуемая поверхность сохраняла плоскую форму. Уменьшение толщины керамики приводит к увеличению максимальной емкости конденсатора. Хорошо отшлифованный конденсатор имеет пределы изменения емкости от 30—40 до 300—350 *пф*.

В крышке корпуса приемника со стороны ее внешней поверхности выфрезеровывают цилиндрическое углубление диаметром, равным диаметру конденсатора. В это углубление вставляют и приклеивают статорную пластину конденсатора так, чтобы роторная пластина возвышалась над поверхностью крышки приемника.

Антенна приемника и высокочастотные трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ точно такие же, как и в предыдущей конструкции.

Трансформатор $Тр_3$ выполнен на сердечнике Ш-4 или Ш-5 из трансформаторной стали и имеет 2 000 витков провода ПЭВ или ПЭЛ диаметром 0,07—0,08 *мм* в первичной обмотке и 1 000 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от середины во вторичной.

Выходной трансформатор $Тр_4$ собран на сердечнике Ш-5 из трансформаторной стали или пермаллоя. Первичная обмотка w_1 трансформатора содержит 1 600 витков провода ПЭЛ 0,07 с отводом от середины. Число витков вторичной обмотки w_2 зависит от сопротивления громкоговорителя и определяется по формуле

$$w_2 = \frac{w_1}{2}\sqrt{\frac{R_{гр}}{450}}.$$

Диаметр провода вторичной обмотки выбирают таким, чтобы она занимала половину объема каркаса. Вторичная обмотка наматывается на каркас в первую очередь.

Транзисторы двухтактного выходного каскада должны быть одного типа и желательно с одинаковым коэффициентом усиления по току β (методика измерения коэффициента β рассмотрена в первой главе).

При наладке схемы величина суммарного коллекторного тока выходных транзисторов в режиме молчания устанавливается в пределах 2—3 *ма* путем изменения величины сопротивления R_7. При установке режима выходного каскада следует проверить равенство токов в коллекторной цепи каждого из его транзисторов. Если величины этих токов значительно отличаются (более чем на 30%), то один из транзисторов следует заменить.

Режимы остальных транзисторов устанавливаются так же, как и в предыдущем приемнике.

12. Переносный супергетеродинный приемник

На рис. 35 приведена схема супергетеродинного двухдиапазонного приемника переносного типа, обладающего относительно высокой чувствительностью и выходной мощностью 80—100 *мвт*.

Такой приемник целесообразно собирать только при наличии высококачественного электродинамического громкоговорителя, позволяющего полностью реализовать преимущества сложной схемы.

Наиболее подходящим для этой цели является специальный электродинамический громкоговоритель типа 0,25 ГД-1 диаметром 70 *мм*, высотой 34 *мм* и весом 70 *г*. Он рассчитан на номинальную мощность 0,25 *ва* и диапазон частот 300—3 000 *гц*. Сопротивление звуковой катушки этого громкоговорителя на частоте 1 000 *гц* равно 8 *ом*.

Несколько лучшим в отношении электрических характеристик, но более громоздким является электродинамический громкоговоритель типа 0,5 ГД-11, диаметром 105 *мм* и весом 150 *г*, рассчитанный на номинальную мощность 0,5 *ва* и диапазон частот 150—7 000 *гц*. Сопротивление звуковой катушки громкоговорителя на частоте 1 000 *гц* равно 5 *ом*.

В приемнике может быть использован малогабаритный динамический громкоговоритель любого другого типа (например, трансляционный громкоговоритель «Малютка»).

Питание приемника осуществляется от любых малога-

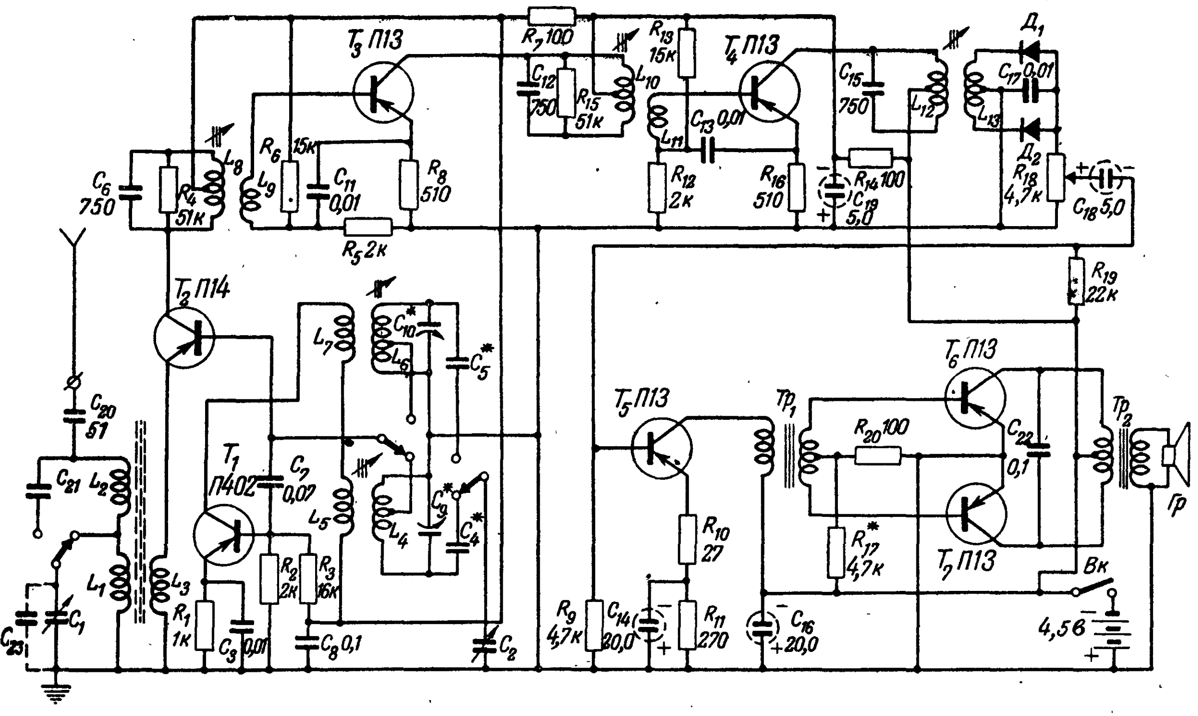


Рис. 35. Схема переносного супергетеродинного приемника.

баритных источников постоянного тока напряжением 4,5—6 *в*. Одним из вариантов может быть батарея из трех последовательно соединенных элементов типа ФБС-0,25. Если габариты корпуса позволяют, то можно использовать карманную батарею КБС-0,7 или КБС-0,45. В режиме максимальной мощности приемник потребляет 25—30 *ма*. Приемник сохраняет работоспособность при понижении питающего напряжения до 2,5—3 *в*. В связи с этим продолжительность его работы от одного комплекта источников питания значительно превосходит результаты расчета по величине номинальной емкости питающих элементов.

Приемник имеет внутреннюю магнитную антенну, но может работать и от внешней. Результирующая чувствительность приемника при работе с внешней антенной повышается и имеет величину порядка 250—400 *мкв*. Благодаря тому, что промежуточная частота приемника равна 110 *кгц*, в нем могут быть использованы во всех каскадах, за исключением гетеродинного, низкочастотные транзисторы типов П1, П5, П6, П13.

В гетеродинном каскаде лучше использовать диффузионный транзистор (П401—П403), но допускается применение и менее высокочастотных типов (П1И, П6Д, П6Г, П15). Пригодность для этой цели того или иного экземпляра транзистора устанавливается включением его в схему гетеродина. Если при этом генерация сохраняется во всем средневолновом диапазоне частот, то испытуемый транзистор может быть в дальнейшем использован в приемнике.

Настройка антенного и гетеродинного контуров приемника производится с помощью двухсекционного конденсатора переменной емкости с воздушным или твердым диэлектриком. При отсутствии готового малогабаритного конденсатора его можно изготовить самостоятельно. Конструктивное выполнение конденсатора значительно облегчается, если в качестве изолятора между пластинами применить пленку из твердого диэлектрика.

Пластины конденсатора вырезают в соответствии с приведенным на рис. 36 чертежом из тонкого листа упругого на изгиб металла, лучше всего из фосфористой бронзы толщиной 0,2—0,25 *мм*.

Между пластинами конденсатора при его сборке прокладывают металлические шайбы небольшого диаметра толщиной 0,5—0,6 *мм*. С помощью этих шайб выдерживается требуемое расстояние между пластинами. В качестве диэлектрических шайб, число которых равно сумме статор-

ных и роторных пластин конденсатора, используют кружки, вырезанные из стирофлексной, полистирольной либо иной тонкой изоляционной пленки.

Для того, чтобы набор статорных пластин разделить на две секции, на крепежные стойки статора надевают изоляционные втулки. Кроме того, между соседними пластинами двух секций вместо металлических шайб прокладывают

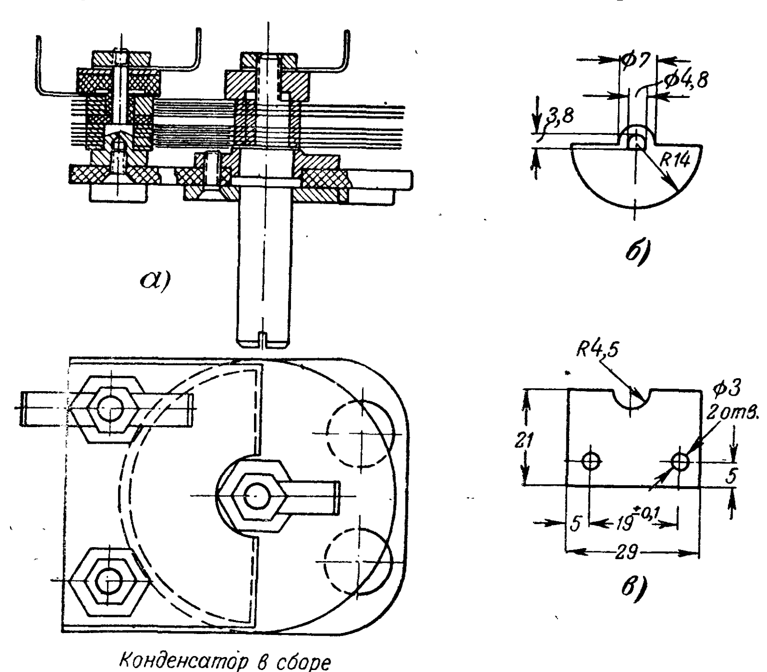


Рис. 36. Чертеж конструкции самодельного двухсекционного конденсатора переменной емкости с твердым диэлектриком.

а — конденсатор в сборе; *б* — роторная пластина; *в* — статорная пластина.

изоляционные толщиной 1,5—2 *мм*. Для подключения к статорным пластинам монтажных проводов в каждой секции одну из металлических крепежных шайб заменяют лепестком такой же толщины. Общая шина приемника соединяется с ротором конденсатора гибким проводом, допускающим вращение в пределах 180°. Во избежание перекручивания провода угол поворота ротора конденсатора ограничивается.

Приемник имеет настраиваемый входной контур, гете-

родин, смеситель, два каскада усиления промежуточной частоты с одноконтурной нагрузкой, двухполупериодный диодный детектор, предварительный усилитель низкой частоты и двухтактный выходной каскад.

Катушка индуктивности входного контура наматывается на ферритовом сердечнике длиной 8—16 *мм* из материала Ф-600. Обмотка имеет две секции. На средневолновом диапазоне работает секция L_1, а на длинноволновом — обе секции (L_1 и L_2), включенные последовательно.

Следует отметить, что при описании высокочастотной части любительского миниатюрного приемника нет смысла рекомендовать конкретные величины элементов входного и гетеродинного контуров. Дело в том, что величина любого элемента этих контуров находится в прямой зависимости от крайних значений емкости конденсатора переменной емкости, который при самостоятельном изготовлении может существенно отличаться по своим параметрам от рекомендованного.

Поэтому ниже приводятся упрощенные расчетные формулы, по которым можно, исходя из конкретных значений начальной и максимальной емкости имеющегося конденсатора настройки, определить индуктивность контурных катушек и емкость сопрягающих конденсаторов.

Пример расчета выполнен для приемника с диапазонами частот 150—415 и 520—1 500 *кгц* при крайних значениях емкости конденсатора настройки $C_{мин} = 15$ *пф* и $C_{макс} = 500$ *пф* и длине ферритового стержня 160 *мм*.

Параметры входного контура можно определить в такой последовательности:

1. Определяем коэффициент перекрытия конденсатора переменной емкости по частоте:

$$K_C = \sqrt{\frac{C_{макс} + 50}{C_{мин} + 50}} = \sqrt{\frac{500 + 50}{15 + 50}} = 2{,}92.$$

2. Рассчитываем коэффициенты перекрытия диапазонов:

$$K_{п.дл} = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \frac{415}{150} = 2{,}76;$$

$$K_{п.ср} = \frac{1\,500}{520} = 2{,}89.$$

Если после этих расчетов окажется, что коэффициент перекрытия одного или обоих диапазонов больше коэффи-

циента перекрытия конденсатора, то этот диапазон следует сократить, произвольно сблизив крайние частоты настолько, чтобы коэффициент диапазона стал равным или несколько меньшим коэффициента K_C.

3. Определяем индуктивность входного контура того диапазона, коэффициент перекрытия которого имеет бо́льшую величину:

$$L_1 = \frac{2{,}53\cdot 10^4 (K_{\text{п.ср}}^2 - 1)}{C''_{\text{мин}} f_{\text{макс}}^2 (K_C^2 - 1)} = \frac{2{,}53\cdot 10^4 (2{,}89^2 - 1)}{65\cdot 1{,}5^2 (2{,}92^2 - 1)} = $$
$$= 170 \text{ мкгн.}$$

В этой формуле $C''_{\text{мин}} = C_{\text{мин}} + 50$, а $f_{\text{макс}}$ — максимальная частота диапазона, *Мгц*.

4. Рассчитываем емкость конденсатора C_{23}:

$$C_{23} = C''_{\text{мин}} \frac{K_C^2 - K_{\text{п.ср}}^2}{K_{\text{п.ср}}^2 - 1} = 65 \frac{2{,}92^2 - 2{,}89^2}{2{,}89^2 - 1} = 1{,}4 \text{ пф.}$$

Такой емкостью можно пренебречь или, учитывая приближенность расчетов, использовать в качестве нее подстроечный конденсатор.

5. Если коэффициент перекрытия второго диапазона равен коэффициенту перекрытия первого, то индуктивность входного контура второго диапазона следует определять по приведенной выше формуле. В ином случае для расчета индуктивности используется следующая формула:

$$L_{1+2} = \frac{2{,}53\cdot 10^4}{(C''_{\text{мин}} + C_{23}) f_{\text{дл.макс}}^2} =$$
$$= \frac{2{,}53\cdot 10^4}{(65 + 1{,}4)\, 0{,}415^2} = 2\,220 \text{ мкгн} \approx 2{,}2 \text{ мгн.}$$

6. Так как обе секции индуктивности входного контура в данном случае наматываются на общем сердечнике, то уменьшение перекрытия конденсатора в том диапазоне, коэффициент перекрытия которого меньше, не может быть осуществлено обычным способом (подключением конденсатора параллельно катушке контура). Поэтому необходимое уменьшение перекрытия производится включением последовательного конденсатора C_{21}, емкость которого может быть рассчитана следующим образом.

Определяют необходимую величину максимальной емкости контура:

$$C_{\text{к.макс}}=\frac{2{,}53\cdot10^4}{L_{1+2}\,f^2_{\text{дл.мин}}}=\frac{2{,}53\cdot10^4}{2\,220\cdot0{,}15^2}=506\ \textit{пф}.$$

Далее рассчитывают емкость добавочного конденсатора C_{21}:

$$C_{21}=\frac{(C_{\text{макс}}+C_{23}+50)\,C_{\text{к.макс}}}{C_{\text{макс}}+C_{23}+50-C_{\text{к.макс}}}=$$

$$=\frac{(500+1{,}4+50)\,506}{500+1{,}4+50-506}=6\,200\ \textit{пф}.$$

Если оба диапазона имеют одинаковые коэффициенты перекрытия, то добавочная емкость C_{21} не нужна.

Катушка L_1 наматывается на ферритовом сердечнике, отступя 10 *мм* от одного из его краев, проводом ПЭВ или ПЭЛ 0,15 в один слой. Для уменьшения собственной емкости катушки между ее обмоткой и сердечником следует проложить 2—3 слоя бумаги, а намотку производить секциями по 15—20 витков в каждой, оставляя расстояние между секциями 3—5 *мм*. Катушка L_2 наматывается таким же проводом и в том же направлении, что и L_1. Между обмотками L_1 и L_2 следует оставить свободный участок стержня длиной 15 *мм*. Катушка связи L_3 располагается поверх секции L_2 и должна свободно перемещаться вдоль нее. Число витков катушки L_3 составляет 1/5 часть числа витков катушки L_1. Несмотря на то, что при переключении диапазонов число витков катушки связи не изменяется, величина связи контура со смесителем остается почти постоянной благодаря различному взаимному расположению обмоток в пространстве.

В приведенном конкретном примере числа витков катушек L_1, L_2 и L_3 соответственно равны 50, 150 и 10 витков.

Величины элементов гетеродинного контура могут быть рассчитаны по приведенным ниже упрощенным формулам. При расчете следует иметь в виду, что эти формулы с достаточной степенью точности справедливы лишь для случая $f_{\text{пр}}=110$ *кгц* и для диапазонов, средние частоты которых лежат вблизи значений

$$f'_{\text{ср}}=\frac{f_{\text{макс}}+f_{\text{мин}}}{2}=1\,000\ \textit{кгц}$$

и

$$f'_{дл}=\frac{f_{макс}+f_{мин}}{2}=282 \ кгц.$$

Индуктивность гетеродинных катушек определяют из следующих соотношений:

$$L_4=0{,}85\ L_1=0{,}85\cdot 170=145\ мкгн;$$

$$L_6=0{,}58\ L_{1+2}=0{,}58\cdot 2{,}2=1{,}28\ мгн.$$

Катушка L_4 наматывается проводом ПЭЛ 0,15 на цилиндрическом изоляционном каркасе с внешним диаметром 7 *мм*. Намотка производится внавал. Высота намотки 7 *мм*. Чтобы витки катушки не расползались, обмотку можно пропитать клеем БФ-2. Внутрь каркаса вводится подстроечный стержень из карбонильного железа от сердечника СБ-1а. Намотку катушки на сердечнике СБ-1а производить не следует, так как в этом случае сильно искажается форма выходного напряжения гетеродина. Катушка имеет 70 витков с отводом от 10-го витка. В схему катушка включается так, чтобы между ее отводом и положительным полюсом источника питания находилось 10 витков. Катушка связи L_5 содержит половину числа витков катушки L_4 и намотана проводом ПЭЛ 0,15.

Катушка L_6 наматывается на сердечнике СБ-1а и имеет 240 витков провода ПЭЛ 0,1. Отвод делается от 25-го витка. В схему эта катушка включается таким образом, что 25 ее витков находятся между отводом и положительным полюсом источника питания. Катушка связи L_7 наматывается внутри этого же сердечника проводом ПЭЛ 0,1 и имеет 80 витков. При наладке схемы гетеродина следует обратить внимание на правильное включение концов обмоток L_5 и L_7, так как гетеродин работает лишь при одном из двух возможных вариантов включения обмоток связи.

Емкости сопрягающих конденсаторов определяются по следующим формулам:

$$C_4=4{,}7C_{к.макс}=4{,}7\cdot 550=2\,600\ пф;$$

$$C_5=1{,}35C_{к.макс}=1{,}35\cdot 550=750\ пф;$$

$$C_9=0{,}0075C_{к.макс}=4{,}1\ пф;$$

$$C_{10}=0{,}025C_{к.макс}=13{,}7\ пф.$$

В этих формулах $C_{к.макс}=C_{макс}+50=550\ пф.$

В качестве конденсаторов C_9 и C_{10} благодаря их малой емкости можно использовать подстроечные конденсаторы типа КПК-1.

Все фильтры промежуточной частоты в приемнике одноконтурные. Это позволяет значительно сократить габариты. С этой же целью катушки индуктивности контуров промежуточной частоты желательно наматывать на малогабаритных сердечниках с относительно большой величиной магнитной проницаемости. Наиболее подходящими являются тороидальные сердечники (кольца) из оксифера с величиной проницаемости 400—600 (Ф-400, Ф-600) и внешним диаметром 10—12 *мм*. Тороидальные сердечники, как известно, обладают наименьшей индуктивностью рассеяния по сравнению с любыми другими типами сердечников. Это позволяет располагать их близко друг к другу, не опасаясь самовозбуждения приемника. При отсутствии таких сердечников катушки контуров промежуточной частоты можно выполнять на карбонильных сердечниках СБ-1а или СБ-2а.

Если катушки выполнены на сердечниках СБ-1а, то L_8, L_{10} и L_{12} имеют по 370 витков с отводом от 180-го витка, L_9 и L_{11} — по 40 витков, а L_{13} содержит 180 витков с отводом от середины. Все эти катушки наматываются проводом ПЭЛ 0,1. Для получения необходимой полосы пропускания частоты настройки первого и второго контуров сдвинуты относительно 110 *кгц* на 3 *кгц* в противоположные стороны. Третий контур настраивается точно на 110 *кгц*. Кроме того, для расширения полосы пропускания первые два контура зашунтированы сопротивлениями R_4 и R_{15}.

Оба низкочастотных трансформатора приемника выполнены на сердечниках типа Ш5—Ш6 из трансформаторной стали или пермаллоя. Толщина набора 9 *мм*. Первичная обмотка трансформатора $Тр_1$ содержит 2 000 витков провода ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,08—0,1 *мм*; а вторичная — 2×500 витков такого же провода.

В трансформаторе $Тр_2$ первичная обмотка содержит 1 800 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от середины. Вторичная обмотка имеет 200 витков провода ПЭЛ 0,2 (для громкоговорителя сопротивлением 4—8 *ом*).

Настройка и наладка приемника производятся в соответствии с методикой, изложенной на стр. 57 и 58.

СОДЕРЖАНИЕ